

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie	Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung	Stand: 11/2000
Referat Altlasten	<b>12: Glasherstellung</b>	Bearbeiter: Beller Consult GmbH, Leipzig, Institut für Silikattechnik, Freiberg Seiten: 27

## **1 Branchentypisches Schadstoffpotential**

### **1.1 Gesetzliche Grundlagen**

Die folgende Aufzählung gibt eine zusammenfassende Übersicht über Richtlinien und Normen, die im Zusammenhang mit der Altlastenproblematik relevant sein können, für die Branche Glas in der DDR.

- TGL 12626, 13001, 14336702-03, 05, 08-10, 28584, 6958 Verpackungen und Verpackungsmittel aus Glas
- TGL 14934/01 Keramik, Glas, Email; Schadstoffabgabe aus Bedarfsgegenständen für Lebensmittel
- TGL 17498, 28439 Handwerkzeuge; Glasschneider
- TGL 18092, 20687 Rohstoffe für Glas und Keramik, Mineralische Rohstoffe; Feldspat und Feldspatsande
- TGL 200-0745/13 Beleuchtung mit künstlichem Licht; Beleuchtungsgüter; Technologien der Glasherstellung und -verarbeitung
- TGL 20925/01-03 Erzeugnisse aus Kieselglas; Rohre aus Kieselglas; Rohre für Lichtquellen
- TGL 10526, 21721, 21723 Flachglas; Tafelglas, Farbflachglas; Überfangflachglas, Schaumglas, Walzglas; Ornamentglas
- TGL 22150, 31775, 34868, 35496, 36955 Optisches Glas, Optisches farbloses Glas
- TGL 25022, 7209 Werkstoff Glas und Glaserzeugnisse
- TGL 25930/18 Laborgeräte aus Glas
- TGL 26740/04-07, 11-12, 17, 19, 39256, 94-41015 Glasfasern und Glasfaser-Erzeugnisse
- TGL 27182 – 184, 186 – 187 Glasseide
- TGL 28575/01-03,05, 31922 Rohre , Rundstäbe aus Geräteglas
- TGL 28817, 28830-32, 34-35, 28917, 35222, 35906, 37131-32, 42555 Geschirr aus Alkali-Kalk-Glas; Geschirr und Ziergegenstände aus Glas; Geschirr aus Bleikristallglas
- TGL 29-875 Feste Schleifkörper; Schleifkörper für die Glasindustrie
- TGL 31688 Rührwerksmahlkörper aus Glas
- TGL 31923, 94-21005, 21019 Erzeugnisse aus Glas für die Elektrotechnik
- TGL 32328/01-13 Mineralwolle-Erzeugnisse
- TGL 32343 Qualitätssicherung bei der Herstellung von Mineralwolle-Erzeugnissen
- TGL 3337, 38, 40, 8416 Anorganische Pigmente; Bleichromat-Pigmente; Eisenoxidpigmente, Zinkoxid
- TGL 34495 Glasbruch, Technische Lieferbedingungen
- TGL 34814 Glas- und Keramikindustrie; betriebliches Messwesen; Rahmenordnung
- TGL 34869/01-03 Geräte aus Glas für die Mikrobiologie
- TGL 35494, 42564 Feuerfestes Hauswirtschaftsglas
- TGL 35495 Presslinge für farblose Brillengläser
- TGL 35985/01-02 Optisches Filterglas
- TGL 36476 Geräte aus Platinwerkstoffen zum Glasschmelzen
- TGL 37645 Glasverarbeitungsmaschinen; Behälterautomaten; Technische Bedingungen
- TGL 39284 Fehler in Glaserzeugnissen; Begriffe (ST RGW 2051-79)
- TGL 42627 Diamantschleifkörper für die Glasbearbeitung
- TGL 43656 Nutzung und Schutz der Atmosphäre; Kennziffern für Emissionsgrenzwerte für die Glasindustrie
- TGL 94/06007/03, 05-10, 14-15, 17-18 Prüfung von Glas
- TGL 94-19001 Kästen aus Glas
- TGL 9338/01 - 02 Feuerfeste Baustoffe; Formsteine für Glasschmelzöfen

Folgende DIN-Bestimmungen, Verordnungen und gesetzliche Regelungen sind aktuell:

- DIN EN 12898 Ausgabe: 1997-08 Glas im Bauwesen - Bestimmung des Emissionsgrades; Deutsche Fassung prEN 12898:1997 (Norm-Entwurf)
- DIN EN 13035-03 Ausgabe: 1998-03 Maschinen und Anlagen zur Herstellung Be- und Verarbeitung von Flachglas - Sicherheitsanforderungen – Teile 3 – 14
- DIN EN 13042-01 Ausgabe: 1998-01 Maschinen und Anlagen zur Herstellung Be- und Verarbeitung von Hohlglas - Sicherheitsanforderungen - Teile 1 - 11

- DIN EN 13167 Ausgabe: 1998-05 Wärmedämmstoffe für Gebäude - werkmäßig hergestellte Produkte aus Schaumglas - Spezifikation; Deutsche Fassung prEN 13167:1998 (Norm-Entwurf)
- DIN ISO 3262-15 Ausgabe: 1994-06 Füllstoffe für Beschichtungsstoffe; Anforderungen und Prüfung; Teil 15: Kieselglasmehl (ISO/DIS 3262-15:1994) (Norm-Entwurf)
- DIN 12330, 12353 Ausgabe: 1981-11 Laborgeräte aus Quarzglas (Kieselglas) und Quarzglas (Kieselglas);
- DIN 1249-10 –12 Ausgabe: 1990-08 Flachglas im Bauwesen
- DIN 18174 Ausgabe: 1981-01 Schaumglas als Dämmstoff für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung
- DIN 52240 – 42 Prüfung von Rohstoffen zur Glasherstellung
- DIN 52340-08 Ausgabe: 1995-11 Prüfung von Glas - Chemische Analyse von ungefärbten Kalk-Natron-Gläsern - Teil 8: Bestimmung von Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O mittels Flammenatomemissionspektrometrie

## 1.2 Einteilung

Kieselglas (reines SiO<sub>2</sub>) und die sich vom SiO<sub>2</sub> durch Einbau anderer Metalloxide ableitenden Silikatgläser nehmen sowohl in technischer als auch in ökonomischer Hinsicht gegenüber Gläsern anderer Systeme eine Sonderstellung ein. Betrachtet man nun solche Gläser, die in großen Mengen industriell produziert werden, so ergeben sich Gruppen von Gläsern.

### 1.2.1 Alkali-Erdalkali-Silikatglas

Die Gruppe der Alkali-Erdalkali-Silikatgläser umfasst nahezu alle Massengläser wie Behälterglas, Flachglas, Wirtschaftsglas und Apparateglas.

Die für die Herstellung der in dem Dreistoffsystem SiO<sub>2</sub>-CaO-Na<sub>2</sub>O liegenden Gläser benötigten Rohstoffe Sand, Kalkstein und Soda sind von allen anderen in Betracht kommenden Rohstoffen zu den geringsten Kosten verfügbar. Daraus ergibt sich zwingend die Bevorzugung der Alkali-Erdalkali-Silikatgläser für Massengläser. Die chemische Zusammensetzung dieser Gläser beträgt etwa 68 – 72% SiO<sub>2</sub>; 9 – 16% Na<sub>2</sub>O; 0 – 7% K<sub>2</sub>O; 0 – 11% CaO; 0 – 4% MgO; 0 – 11% BaO und 1 – 5,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Diese Massengläser werden auch im gefärbten Zustand verwendet. Bei den Farbgläsern werden zwischen ionengefärbten Gläsern und Anlaufgefärbgläsern unterschieden. Anwendung und Einsatz der Farbgläser sind Schmuckgläser, Schutzgläser, Filtergläser für den wissenschaftlichen Gerätebau, Fotofilter und Signalgläser, farbiges Behälter- und Flachglas.

Farbige Massengläser werden stets durch Ionenfärbung erzeugt. Die Ionenfärbung entsteht durch die in Tabelle 1 genannten Oxide, die in der Glasschmelze ionogen in Lösung gehen und das Glas homogen einfärben. Die mengenmäßig am weitest häufigsten verwendeten Farbgläser sind Grünglas (Eisenoxid und Cr (III)-oxid), Braunglas (Eisenoxid) und halbweißes Glas (Spuren von Eisenoxid und Cr (III)-oxid).

Tabelle 1: Farbgläser mit Ionenfärbung

Farbrohstoffe	Färbende Oxide	Glasfärbung
	FeO + Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tief blaugrün
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CoO	grau
Didymoxid	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	violett
Eisenoxid	FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *3H <sub>2</sub> O	blaugrün, bei Schmelze unter reduzierenden Bedingungen: braun
Kaliumchromat	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ; K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	hellgrün
Kobaltoxid	CoO	tiefblau
Kupferoxid	CuO, CuO <sub>2</sub>	blau
Manganoxid	MnO	gelb
Manganoxid	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> und höhere Oxide	violett
Nickeloxid	NiO, Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	grün
Uraniumoxid		gelb bis hellgrün
Zerdidymoxid	CaO <sub>2</sub> +Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Zeroxid	CeO <sub>2</sub>	hellgelb

Die Färbung der Anlaufgläser wird durch kolloidale Farbstoffausscheidungen hervorgerufen. Als Farbstoffe sind die Cadmiumchalkogenide und die Metalle Kupfer, Silber und Gold am gebräuchlichsten. Bei diesen Gläsern entsteht die Färbung erst durch einen Wiedererwärmungsprozess, dem sogenannten „Anlaufen“.

Tabelle 2: Rohstoffe für Anlauffarben

Farbrohstoffe	Färbende Oxide	Glasfärbung
Cadmiumselenid	CdSe	rot bis dunkelrot
	CdS-CdSe-Mischkristalle	orange
	CdSe-CdTe-Mischkristalle	dunkelrot
Cadmiumsulfid	CdS	gelb
	CdS-ZnS-Mischkristalle	hellgelb
Goldchlorid	Au	rot
Kupferoxid	Cu	rot
Silbernitrat	Ag	gelb bis gelbbraun

Daneben wurden früher auch noch Rubingläser mit Schwermetallsulfiden oder -seleniden, z. B.  $Sb_2S_3$ , FeS, FeSe, CuS, NiS,  $Mo_2S_3$ ,  $W_2S_3$ ,  $Ag_2S_3$  usw., hergestellt.

### Behälterglas

Behältergläser lassen sich nach ihrer Verwendung in die Gruppen Getränkeflaschen, Konservenglas und Kleinbehälterglas einteilen. Die chemische Zusammensetzung der Behältergläser variiert nach zwei Kriterien:

1. Verwendungszweck  
Hiervon ist nur die Farbe des Glases betroffen
2. Formgebungsverfahren  
Nach dem Formgebungsprinzip wird unterschieden:
  - Enghalsiges Behälterglas (geblasen)
  - Weithalsiges geblasenes Behälterglas
  - Weithalsiges gepresstes Behälterglas.

#### 1.2.2 Bleisilikatglas

Gläser aus dem System  $Me_2O-PbO-SiO_2$  haben große praktische Bedeutung. Sie sind die Grundlage für eine Reihe hochbrechender optischer Gläser. Bleisilikatgläser können bis zu 90% PbO enthalten.

#### 1.2.3 Borosilikatglas

Borosilikatgläser sind von großer technischer Bedeutung. Ein partieller Austausch des  $SiO_2$  durch  $B_2O_3$  führt zu einer besseren Schmelzbarkeit. Dadurch ist es möglich, Gläser mit wesentlich höheren  $SiO_2$ -Gehalten zu erschmelzen, was zu Eigenschaften, wie geringe Ausdehnung und hohe chemische Beständigkeit führt. Mit einer Glaszusammensetzung von 74 – 78%  $SiO_2$ ; 7 – 15%  $B_2O_3$ ; 2 – 6%  $Al_2O_3$ ; 3 – 8%  $Na_2O$  und 0 – 4% RO werden Gläser erschmolzen, die für die Herstellung von chemisch und thermisch hoch beanspruchten Geräten und Apparaturen geeignet sind. Rohstoffe für  $B_2O_3$  sind Borsäure  $H_3BO_4$  und Natriumtetraborat  $Na_2O \cdot 2B_2O_3$ .

#### 1.2.4 Alumo-Silikatglas

In dem System  $SiO_2-Al_2O_3-RO$  werden bei chemischen Zusammensetzungen von 54%  $SiO_2$ ; 14%  $Al_2O_3$ ; 23% RO und 8%  $B_2O_3$  Gläser mit niedrigen Ausdehnungskoeffizienten, hohen Transformationstemperaturen, guter hydrolytischer Beständigkeit und extrem niedriger Leitfähigkeit erzeugt. Für diese Gläser ergeben sich Einsatzmöglichkeiten bei hohen Temperaturen.

#### 1.2.5 Schaumglas

Die Entbindung von Gasen aus hochviskosen Schmelzen mit niedrigen Werten der Oberflächenspannung führt zur Ausbildung von Schäumen. Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Schaumgläsern sind im allgemeinen Na-Ca-Silikatgläser einfacher Zusammensetzung (71 – 74%  $SiO_2$ ; 13 – 17%  $Na_2O$ ; 2 – 12% CaO; 0 – 2,5% MgO; 0 – 2,5%  $Al_2O_3$ ). Als Trübungsmittel finden  $CaCO_3$  und Kohlenstoff Verwendung, Treibgase sind  $CO_2$  und  $H_2S$ . Es kann auch Wasserdampf zur Schaumbildung eingesetzt werden.

### 1.2.6 Wasserglas

Wasserglas ist keine definierte chemische Verbindung, sondern eine Sammelbezeichnung für glasig erstarrte Schmelzen von Alkalisilikaten wechselnder Zusammensetzung sowie deren wässrige Lösungen. Technische Wassergläser enthalten als Hauptkomponente  $\text{SiO}_2$  und als Alkalioxide  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$ .

### 1.2.7 Kieselglas

Kieselglas ist das einzige technisch genutzte Glas mit nur einer Komponente  $\text{SiO}_2$ . Verunreinigungen des Kieselglases beeinflussen dessen Herstellung, Verarbeitung, Eigenschaften und Verwendung.

### 1.2.8 Sonderglas

Sondergläser besitzen neben den üblichen optischen Daten spezielle zusätzliche Eigenschaften. Die ausgewählten Beispiele der Sondergläser sind der Vollständigkeit halber angeführt, werden aber im sehr geringen Maße gefertigt.

- Gläser für die Faseroptik müssen sehr geringe Lichtabsorptionsverluste aufweisen und werden aus Rohstoffen höchster Reinheit hergestellt.
- Strahlenresistente Gläser mit Zusatz von Ceroxid behalten auch bei hohen Strahlendosen ihre Lichtdurchlässigkeit unverändert, was bei nicht stabilisierten Gläsern meist nicht der Fall ist.
- Chalkogenidgläser (Schwefel, Selen, Tellur) weisen hohe Transmissionswerte im Infrarotgebiet auf. Einige dieser Gläser sind gute Halbleiter.
- Fluoridgläser ( $\text{BeF}_2$ ) und Nitratgläser ( $\text{KNO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , beides salzartige Gläser) werden für spezielle optische Systeme verwendet bzw. zeigen eine starke Lumineszenz bei Anregung durch UV-Licht.
- Phosphatgläser haben eine geringe chemische Beständigkeit und werden deshalb nur für Sonderzwecke eingesetzt, so z.B. als Wärmeschutzglas, flusssäurebeständiges Glas und Grundglas für Farbgeläser. Rohstoffe hierfür sind Aluminiumphosphat  $\text{AlPO}_4$ ; Kalziumphosphat  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; Phosphorsäure  $\text{H}_3\text{PO}_4$  und Bariumphosphat  $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ .
- Vanadatgläser besitzen einen ungewöhnlich niedrigen elektrischen Widerstand, der sie als Halbleiter bei Zimmertemperatur ausweist.

## 1.3 Verzeichnis der glasherstellenden Betriebe in den neuen Bundesländern

Tabelle 3: Glasherstellende und –verarbeitende Betriebe und Firmen in den neuen Bundesländern

Betrieb	Glasart	In Betrieb/stillgelegt
DNL Behälterglas GmbH & Co. KG Drebkau	Behälterglas	X
Glaswerk Bernsdorf	Behälterglas	X
Glaswerk Ernstthal GmbH	Behälterglas	X
Glaswerk Freital GmbH	Behälterglas	X
Glaswerk Großbreitenbach	Behälterglas	X
Glaswerk Großräschen	Behälterglas	X
Glaswerk Neuenhagen, Berlin	Behälterglas	X
Glaswerk Oelze, Katzhütte	Behälterglas	X
Glaswerk Schönbrunn	Behälterglas	
Glaswerk Waldau, Biberau	Behälterglas	X
Beleuchtungsglaswerk Bischofswerda	Beleuchtungsglas	X
Beleuchtungsglaswerk Dresden	Beleuchtungsglas	X
Beleuchtungsglaswerk Neupetershain	Beleuchtungsglas	X
Beleuchtungsglaswerk Welzow	Beleuchtungsglas	X
NARVA Brand-Erbisdorf	Beleuchtungsglas	X
Glaswerk Annahütte	Bleiglas	X
Glaswerk Haselbach	Farbgeläseröhren	X
Samsung Corning Tschernitz Deutschland GmbH, Tschernitz	Fernsehbildschirme, -kolben	X
Fernsehkolbenwerk Friedrichshain	Fernsehkolben	X

Fortsetzung Tabelle 3: Glasherstellende und –verarbeitende Betriebe und Firmen in den neuen Bundesländern

Betrieb	Glasart	In Betrieb/stillgelegt
Farbenglaswerk Weißwasser	Flachglas	X
Pilkington Automotive Aken	Flachglas	X
INTERPANE Glasgesellschaft mbH & Co, Belgern	Flachglas, Beschichtung	X
INTERPANE Glasgesellschaft mbH & Co, Häsén	Flachglas, Beschichtung	X
Flachglas Sachsen GmbH, Grimma	Flachglas, Veredelung	X
Flachglas Ushmannsdorf GmbH	Flachglas, Veredelung	X
Flachglaswerk Radeburg GmbH	Flachglas, Veredelung	X
Glaszentrum Magdeburg	Flachglas, Veredelung	X
Euroglas GmbH & Co. KG, Haldensleben	Floatglas	X
Flachglas Torgau GmbH	Floatglas	X
Guardian Flachglas GmbH, Thalheim	Floatglas	X
Glasseiden GmbH Oschatz	Glasfasern	X
P-D Glasfaser GmbH Brattendorf/Thüringen	Glasfasern	X
Berliner Kieselgutwerk, Berlin-Heinersdorf	Kieselgut	X
Sil-trade Herstellung und Vertrieb silikatischer Materialien und Produkte GmbH Rietschen	Kugeln aus Glas	X
Glaswerk Hosena	Optisches Glas	X
Glaswerk Lauscha	Pellets	X
Quarزشmalze Staaken	Quarzgut	X
Glaswerk Taubenbach, Schmiedefeld	Schaumglas	X
SCHOTT JENA <sup>et</sup> GLAS GmbH, Jena	Spezialflachglas, Wirtschaftsglas, Glaskeramik, Borosilikatglas	X
Deutsche Glashandels-Gesellschaft Rostock mbH	Technische Gläser, Veredelung	X
Glaswerk Altenfeld	Technisches Glas	X
Werk für technisches Glas, Ilmenau	Technisches Glas	X
Telux-Spezialglas GmbH Weißwasser	Technisches Glas, Bleiglas, Lotglas	X
GKF Neuwirth / Lippmann Glas- und Kunststofftechnik Freital	Technisches Glas, Flachglas	X
DEUTSCHE GLAS BERLIN - BRANDENBURG GMBH, Potsdam	Veredelung	X
Deutsche Glashandels-Gesellschaft Chemnitz mbH	Veredelung	X
Deutsche Glashandels-Gesellschaft Cottbus mbH; Cottbus-Sandow	Veredelung	X
Deutsche Glashandels-Gesellschaft Magdeburg mbH	Veredelung	X
Deutsche Glashandels-Gesellschaft Neubrandenburg mbH	Veredelung	X
FIWA-Glas GmbH & Co. KG Isolierglaswerk Bad Lauchstädt	Veredelung	X
HUKnote Glas und Handels Gesellschaft mbH, Eilenburg	Veredelung	X
HUKnote Glas und Handels Gesellschaft mbH, Schmerkendorf	Veredelung	X
Sächsisches Glaszentrum Leipzig GmbH, Wachau	Veredelung	X
WMH Isolierglas GmbH Schneeberg	Veredelung	X
Glastechnik Grünler GmbH, Zeulenroda	Veredelung, Schleifen	X
FGT Glaswerk GmbH, Kleinkoschen	Veredelung, Sondergläser	X
Deutsche Glashandels-Gesellschaft Dresden mbH	Veredelung, Spiegel und Ornamentglas	X
Glasverarbeitung Maltitz GmbH; Lucka	Veredelung	X
Guß- und Farbenglaswerk Pirna-Copitz	Walzglas	X
Wasserglas Wurzén/Dehnitz	Wasserglas	X
Farbglashütte Reichenbach GmbH	Wirtschaftsglas	X

Fortsetzung Tabelle 3: Glasherstellende und –verarbeitende Betriebe und Firmen in den neuen Bundesländern

Betrieb	Glasart	In Betrieb/stillgelegt
GLASAX GmbH, Schwepnitz	Wirtschaftsglas	X
Glashütte Döbern GmbH	Wirtschaftsglas	X
Glaswerk Schmiedefeld	Wirtschaftsglas	X
Lausitzer Glas, Rietschen	Wirtschaftsglas	X
Stölzle-Oberglas Lausitz GmbH	Wirtschaftsglas	X

## 1.4 Technologie

### 1.4.1 Glasschmelzprozess

Die Glasschmelze ist ein technologischer Abschnitt der Glaserzeugung, der die Umwandlung des Gemenges in eine mehr oder weniger homogene, blasenarme, verarbeitungsbereite Schmelze durch einen Hochtemperaturprozess umfasst. Zum Bereich der Schmelze zählen Rauschmelze, Läuterung und Abstehen.

Die benötigten sehr hohen **Schmelztemperaturen** werden durch Feststoffbrenner (Holz, Kohle) nicht erreicht. Als Brennstoffe werden daher Erdöl oder Gas verwendet. **Generatorgas** wurde bis Ende der 1960er Jahre vielfach am Standort durch Verkokung von Braunkohle selbst hergestellt. Da bei der Erzeugung von Generatorgas große Mengen umweltgefährdender Stoffe anfallen (s. Kapitel 1.5.7 und Branchenblatt Nr 2, Gaswerke und Kokereien) ist dieser Umstand **für die Bewertung der Altlastenrelevanz von sehr hoher Bedeutung** und unbedingt abzuklären.

Bei Glasarten, bei denen eine sehr gezielte Temperatursteuerung bei dem Schmelzprozeß notwendig ist (vor allem Spezialglas, Borosilikatglas), werden die Wannen elektrisch beheizt.

**Rauschmelze** auch Rohschmelze genannt, ist das erste Stadium des Glasschmelzprozesses, das mit der Erwärmung des Gemenges auf die Einschmelztemperatur beginnt und mit der Lösung des Restquarzes endet. Während des Aufheizens, das wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit des Gemenges langsam verläuft, finden zunächst Silikatbildungsreaktionen statt. In Gemengen mit Karbonaten beginnt die CO<sub>2</sub>-Entbindung, die die Silikatbildung begleitet, bei etwa 600°C bis 900°C anschließend erfolgen Zersetzungsreaktionen von Nitraten und Sauerstoff zu NO und NO<sub>2</sub> und Dehydratationen unter Abspaltung von Wasser. Das Ergebnis der Rauschmelze ist eine stark blasige, inhomogene und gasreiche Schmelze, die der Läuterung unterworfen werden muss.

Die **Läuterung** ist der Abschnitt der Glasherstellung, in dem die nach der Rauschmelze verbleibenden Blasen entfernt werden. Zum Entfernen der Blasen können verschiedene Läuterungseffekte, wie Bubbling (Spülen der Schmelze mit Gasen), Einsatz von Läutermitteln (Gasabgabe zur Vergrößerung der Blasen bei hohen Temperaturen) und Erhöhung der Temperatur (Verringerung der Viskosität), genutzt werden.

Eine intensive Läuterung wird erreicht, wenn bei Läutertemperatur zum Abbau der durch chemische Läutermittel entstehenden Gasübersättigung eine mechanische Anregung der Schmelze zur Blasenreubildung durch Rühren oder Bubbling erfolgt. Eine Vielzahl der gebildeten, rasch anwachsenden Blasen führt zu einer guten Homogenisierung und spült gelöste Gase heraus. Gase, die bei der Läuterung abgespalten und aus der Schmelze entfernt werden, sind Sauerstoff, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>.

Folgende Läutermittel werden verwendet.

Tabelle 4: Läutermittel und Schmelzbeschleuniger

Bezeichnung	Chem. Formel	Verwendet als
Arsentrioxid (Arsenik)	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Läutermittel
Bariumchlorid	BaCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O	Läutermittel
Bariumfluorid	BaF <sub>2</sub>	Läutermittel
Natriumchlorid	NaCl	Läutermittel
Natriumhexafluorosilikat	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	Läutermittel
Antimontrioxid	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Läutermittel
Aluminiumnitrat	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> *15H <sub>2</sub> O	Läutermittel in alkaliarmen Alumosilikatgläsern
Kalziumfluorid	CaF <sub>2</sub>	Läutermittel, Schmelzbeschleuniger
Bariumnitrat	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Oxidations- und Läutermittel

Das **Abstehen** ist die letzte Phase des Glasschmelzprozesses. Während des Abstehens werden die Bedingungen für das Ausarbeiten der Glasmasse geschaffen. Die Glasterperatur soll gleichmäßig auf das Arbeitsniveau abgesenkt werden. Gleichzeitig finden Resorptionsvorgänge an Restblasen statt. Nach ihrer technologischen Charakteristik unterscheidet man die Hafenschmelze und die Wannenschmelze.

### **Hafenschmelze**

Die Hafenschmelze beschreibt ein diskontinuierliches, chargenweises Glasschmelzverfahren, bei dem das Gemenge in den auf Schmelztemperatur vorgeheizten Hafen (zylindrisches Gefäß aus Schamotte) eingelegt wird. Nach dem Vollschmelzen des Hafens, erfolgt das Läutern bei einer erhöhten Temperatur. Durch Drosselung der Beheizung wird die geläuterte Glasschmelze auf Arbeitstemperatur gebracht. Nach erfolgtem Ausarbeiten des Glases beginnt ein neuer Schmelzyklus. Die Hafenschmelze ist ein althergebrachte Glasschmelztechnologie, die bis in die 2. Hälfte des 19. Jh. ausschließlich angewandt wurde. Die Hafenschmelze wird heute nur noch in Sonderfällen angewandt, z. B. bei optischen Gläsern, Farbgläsern, Überfanggläsern, technischen Gläsern sowie geringen Losgrößen der Produktion.

Eine Sonderform der Hafenschmelze ist die Tiegelschmelze für Laborversuche und Sonderfertigung geringer Glasmengen unter besonderen Schmelzbedingungen.

### **Wannenschmelze**

Die Wannenschmelze ist ein kontinuierliches Glasherstellungsverfahren. Die erste kontinuierliche Schmelze wurde 1867 in Dresden bei der Firma Siemens in Betrieb genommen. Der Vorteil des kontinuierlichen Betriebes, hoher Schmelzleistungen und maschineller Glasverarbeitung über Speisersysteme, wird heute vorrangig genutzt. Bei der Wannenschmelze finden die Etappen der Glasherstellung im Gegensatz zur Hafenschmelze nicht nacheinander, sondern gleichzeitig und räumlich nebeneinander in einem meist länglichen Wannebassin statt. Die entstehenden Zonen der Wanne sind nicht exakt voneinander zu trennen, da Glasströmungen immer wieder zu Vermischungen führen. Eine Unterteilung des Bassins durch Einbauten verringert diese Vermischung jedoch wesentlich. Heutige Wannen haben neben der Schmelz- und Läuterwanne eine Arbeits- oder Abstehwanne, zur Konditionierung des Glases.

### **Wannentypen**

Glasschmelzwannen können nach folgenden Gesichtspunkten unterteilt werden.

- Brennstoff bzw. Energieträger (gasbeheizt, ölbeheizt, elektrisch beheizte Wanne [sehr gezielte Temperaturverteilung möglich, vor allem für Spezialgläser und Borosilikatglas verwendet], gemischt beheizte Wanne)
- Brenneranordnung (U-Flammenwanne [Brennerpaar nur an Stirnwand, für kleinere Durchsatzmengen geeignet], Querflammenwanne [Brenner paarweise quer zur Wannenlängsachse angeordnet, für große Durchsatzmengen geeignet])
- Beheizungssystem (Regenerativheizung, Rekuperativheizung, Direktheizung)
- Unterteilung des Oberofens (einräumige Wanne, zweiräumige Wanne – Schmelzwanne und Arbeitwanne getrennt)
- Verwendungszweck bzw. zu schmelzende Glasart
  - Behälterglaswanne: mittlere bis große regenerativ U- oder querflammenbeheizte zweiräumige Wanne für Öl- oder Gasbeheizung
  - Wirtschaftsglaswanne: kleine bis mittlere U-Flammenwanne, zweiräumig, regenerativ beheizt
  - Flachglaswanne: große regenerativ querbeheizte zweiräumige Wanne für Gas- oder Ölbeheizung
  - Borosilikatglaswanne: kleine U- oder querflammenbeheizte regenerative zweiräumige Wanne für alle Beheizungsarten
- Entnahme- oder Verarbeitungsverfahren (manuelle Entnahme, Speiserwanne, Flachglaswanne, Guss- oder Walzglaswanne, Rohrziehwanne)

Da für die Altlastenrelevanz von Bedeutung (z.T. Anfall von schwermetallbelasteten Steinen) soll die Wärmerückgewinnung bei der meist verwendeten Regenerativheizung sowie der Rekuperativheizung kurz näher erläutert werden.

### **Regenerativ beheizte Glasschmelzwannen**

Die Regenerativheizung ist ein Wärmerückgewinnungssystem, bei dem die durch heiße Ofenabgase abgeführte Wärmeenergie im Regenerator gespeichert wird. Nach dem Aufheizen des Regenerators erfolgt ein Umschalten der Gasströme, so dass die zuströmende Verbrennungsluft die gespeicherte Wärme aufnehmen

kann und im vorgewärmten Zustand zur Verbrennung im Ofenraum gelangt, während die heißen Abgase den kaltgeblasenen zweiten Regenerator aufheizen.

Durch das Abführen der heißen Ofengase werden ebenfalls Stäube und gasförmige Komponenten des Glasschmelzprozesses abgeführt und schlagen sich auf den kalten Steinen der Regenerativkammerauskleidung nieder. Die Steine, die als erstes mit den heißen Ofenabgasen in Berührung kommen, verstopfen durch die Anlagerung von Sulfaten, Nitraten, Alkalien und anderen Oxiden (je nach Glasart in unterschiedlichem Maße auch Schwermetalloxide) und müssen ausgetauscht werden.

Die meisten Glasschmelzwannen sind mit diesem Typs der Wärmerückgewinnung ausgerüstet.

### **Rekuperativ beheizte Glasschmelzwannen**

Die Rekuperativheizung ist ein Beheizungssystem mit Wärmerückgewinnung in einem Wärmetauscher. Im Gegensatz zu Regenerativheizung lassen sich nur Luftvorwärmtemperaturen von max. 1000°C erzielen. Vorteil der Rekuperativheizung ist die konstante Temperaturführung.

## **1.4.2 Formgebungsverfahren**

Die Formgebungs- und Vergütungsprozesse in der Glasindustrie sind sehr mannigfaltig und von der Art der Erzeugnisse abhängig.

### **1.4.2.1 Flachglas**

Flachglaserzeugnisse können in vier Kategorien eingeteilt werden: gezogenes Flachglas, Floatglas, Walzglas und Spiegelglas. In allen Prozessen wird das Endprodukt vom anfänglichen Ziehen bis zum Schneiden hergestellt.

#### **Gezogenes Flachglas**

Bei den Ziehverfahren wird das Glas aus der Glasschmelze auf Kühlbahnen gezogen. Es werden drei verschiedene Verfahren verwendet (Fourcault-Verfahren, PPG Pennvernon-Verfahren oder LOF-Colburn-Verfahren), die sich durch die Art und Weise wie das Glas aus der Glasschmelze gezogen wird unterscheiden.

#### **Pilkington-Float-Verfahren**

Das Floatverfahren ist eine radikale Abwendung von allen vorausgegangenen Flachglasformgebungsprozessen. Es wurde in den 50er Jahren entwickelt. Das Glas aus der Schmelzanlage strömt in eine abgeschlossene Kammer, in der sich ein Floatbad aus geschmolzenen Zinn befindet und in der eine neutrale Stickstoffatmosphäre herrscht. Das Glas wird mit einer bestimmten Geschwindigkeit über das Zinn gezogen. Die Temperatur des Zinns wird so geregelt, dass das Glas fließen und sich eine völlig glatte Oberfläche bilden kann, um dann vor Eintritt in die Kühlbahn hart zu werden.

Das Floatverfahren liefert ein Glas mit einer solchen Oberflächenbeschaffenheit, dass weder Schleifen noch Polieren erforderlich sind. Das Verfahren wurde zu Zeiten der DDR nur im Flachglaswerk Torgau eingesetzt.

#### **Walzglas**

Bei diesem Prozess wird das Glas durch einen Satz Walzen, die das Glas zu einem Strang formen, direkt aus der Schmelzanlage entnommen. Von diesen Hauptwalzen, auf die Muster für Ornamentglas oder Eisglas aufgedruckt ist, gelangt der Glasstrang in einen Bandkühlofen.

Drahtglas entsteht, wenn man vor den Hauptwalzen Maschendraht in das Glas einlegt.

Spiegelglas wird mit Hilfe des Walzverfahrens unter Verwendung glatter Walzen hergestellt.

### **1.4.2.2 Rohre**

Glasrohre werden überwiegend nach drei Verfahren hergestellt.

### **Vertikal-Rohrziehverfahren**

Das Verfahren eignet sich für Rohre mit größerem Durchmesser. Hierunter werden Verfahren zum Ziehen von Rohr senkrecht nach oben verstanden. Das Glas wird entweder aus einer Düse oder aus der freien Glasbadoberfläche gezogen. Eine Düse, die in das Rohr Luft einbläst, stabilisiert dies. Das geformte Rohr wird über Rollen nach oben gezogen.

### **Danner-Verfahren**

Hier werden Rohre mit einem Durchmesser von 2 bis 60 mm Außendurchmesser gezogen. Beim Danner-Verfahren wird zunächst mit einem zylindrischen Rieselfilm auf einer leicht geneigten Schamottepfeife eine Verformung vorgenommen. Dabei läuft über eine Rinne oder Ausflussöffnung ein Glasstrang in einem freien Fließvorgang auf die langsam rotierende Pfeife, die sich in einem Ofen befindet. Das auf die Pfeife aufgewickelte Glas läuft nach unten ab. Die Fertigformung erfolgt über eine Ziehzwiesel am unteren Ende der Pfeife in einem freien Durchhang des Stranges. Das fertige Rohr wird auf einer horizontalen Ziehbahn mit Hilfe einer Ziehmaschine abgezogen.

### **Vello-Verfahren**

Hier werden relativ dünnwandige Rohre hergestellt. Über eine Ringdüse am Boden eines Vorherdes oder eines Speiserkopfes tritt die Glasmasse aus, die über einen sich erweiternden Konus fließt. Es bildet sich ein hohler Strang, der vor dem vollständigen Erstarren in die horizontale Richtung umgelenkt und über eine Rollenbahn weitertransportiert wird.

#### **1.4.2.3 Hohlglas**

Die wichtigsten Verfahren zur Herstellung von Hohlglas sind

- das Pressen (einstufiges Verfahren)
- das Schleudern (einstufiges Verfahren)
- das Blas-Blas-Verfahren (zweistufig)
- das Press-Blas-Verfahren (zweistufig)

Bei der Herstellung von Hohlglas werden für das Schmieren der Formen große Mengen an Schmiermitteln benötigt.

#### **Herstellung durch Pressen**

Der Glasposten wird entweder manuell oder automatisch über den Speiser der Presse zugeführt. Das Presswerkzeug besteht aus einer Form, dem Stempel und einem Deckring, der mit Federkraft gegen die Form gedrückt wird und die Verbindung zwischen Form und Stempel herstellt. Nach dem Pressen wird das Produkt der Kühlbahn zugeführt.

#### **Herstellung durch Schleudern**

Ein Glasposten wird in die vorgewärmte Schleuderform eingesetzt, die im allgemeinen um ihre vertikale Achse rotiert und ein Hochsteigen an der Formenwand bewirkt. Bei komplizierten Formen bzw. großen Glasposten kann die Glasverteilung mittels Bodenplatte und Schablone beeinflusst werden.

#### **Blas-Blas-Verfahren**

Typische Erzeugnisse sind Enghalsgläser.

Der Gastropfen fällt zunächst in die mit dem offenen Boden nach oben stehende Vorform. Durch Blasen wird das Kübel hergestellt. Danach erfolgt in der Vorform das Vorblasen oder Gegenblasen. Nach dem Öffnen der Vorform klappt das Kübel um 180° in die Fertigform, um dort die endgültige Gestalt zu erhalten.

#### **Press-Blas-Verfahren**

Hier werden bevorzugt Weithalsgläser gefertigt.

In einer Vorform wird zunächst ein Kübel gepresst, der in die Fertigform ausgeblasen wird.

#### **1.4.2.4 Manuelle Formgebung**

Im wesentlichen ist hier die Arbeit der Glasmacher gemeint, die künstlerische Gläser und Glasgeschirr hoher Qualität herstellen. Von der Rohstoffanlieferung, der Bevorratung, der Gemengebereitung bis zur Schmelze unterscheidet sich der Prozess nicht von dem der maschinellen Formgebung. Das Glas wird in Hafenöfen, Tageswannen oder kontinuierlich arbeitenden Wannen geschmolzen. Mit der Glasmacherpfeife wird durch Auswickeln ein Glasposten aufgenommen, und es erfolgt eine Formgebung zum rundlichen Küssel. Dann wird der Posten unter drehenden und schwingenden Bewegungen zunächst frei geformt und aufgeblasen, so dass die Endform weitgehend erreicht wird. Anschließend erfolgt das Fertigblasen in einer Form aus Holz oder Metall, die auch die endgültige Gestalt des Glasgegenstandes bestimmt. Die fertigegeblasenen Gegenstände werden von der Pfeife abgeschlagen und durchlaufen einen Kühllofen.

#### **1.4.2.5 Glasfasern**

Zur Faserherstellung werden vier Verfahren angewendet:

- das Ziehen der Fasern von einem Glasstab
- das Ziehen von geschmolzenen Glas aus der Düsenziehwanne
- das Schleuderverfahren
- das Düsenblasverfahren

##### **Stabziehverfahren**

Nach dem Stabziehverfahren werden vor allem Glasfaservliese und Textilglasgarne hergestellt. Dabei werden mehrere Glasstäbe mit einem Durchmesser von 3 bis 8 mm nebeneinander eingespannt. Das untere Ende der senkrecht hängenden Stäbe wird mit einer Brennerflamme bis zum Erweichen erhitzt. Infolge der Schwerkraft löst sich dann ein zähflüssiger Tropfen und zieht einen Faden hinter sich her, der rasch erstarrt. Die Fäden werden an einer rotierenden Trommel angeheftet, von ihr aufgespult und die aufgewickelte Faserschicht aufgeschnitten. Man erhält Stapelfasern. Die Glasstäbe werden entsprechend der abschmelzenden Glasmasse in den Wirkungsbereich der Flamme vorgeschoben.

Dieses Verfahren ist diskontinuierlich, da die verbrauchten Glasstäbe erneuert werden müssen.

##### **Düsenziehverfahren**

Mit diesem kontinuierlichen Verfahren werden Glasgarne hergestellt.

Am Boden eines Schmelzgefäßes aus Platin befinden sich 100 bis 800 Düsen mit einem Durchmesser von 1 bis 2 mm. Aus jeder Düse werden mit einer Geschwindigkeit von 25 bis 50 m/s Fäden senkrecht nach unten gezogen, mit einem Bindemittel benetzt, zusammengeführt, verklebt und auf eine Spule aufgewickelt.

##### **Schleuderverfahren**

Hier werden kurze Fasern erzeugt.

Ein etwa 10 mm dicker, dünnflüssiger Glasstrang fließt durch eine Bodenöffnung der Glasschmelzwanne auf eine sich drehende horizontale Scheibe. Vom Rand der Scheibe werden Glaspfropfen weggeschleudert, von denen jeder einen Faden hinter sich herzieht. Die Bewegung des Tropfens und der Scheibe dehnen den Faden noch aus. Die Tropfen werden von den Fasern getrennt und rund um die Scheibe sinkt ein schlauchartiges Fasergebilde nach unten, das aufgeschnitten wird.

##### **Düsenblasverfahren**

Für die Herstellung sehr feiner und kurzer Fasern wird dieses Verfahren verwendet.

Aus einer Glasschmelzwanne mit Düsen am Boden werden mit Hilfe eines hochgespannten Dampfes, der die unterhalb der Düsen entstehenden flüssigen Glasfäden mit hohem Druck und Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s vorantreibt, senkrecht nach unten feine Fasern gezogen. Die Fasern zerreißen dabei in kurze Stücke.

#### **1.4.2.6 Wasserglas**

Die Herstellung von Wasserglas gehört zu den einfachsten Verfahren der Glasindustrie. Das Gemenge besteht nur aus zwei Komponenten, die in einer Glasschmelzwanne im kontinuierlichen Betrieb geschmolzen werden. Das geschmolzene Wasserglas fließt in einen Becherförderer, in dem es erstarrt, und wird anschlie-

ßend gelagert. Die wässrigen Lösungen des geschmolzenen Glases (gesättigt etwa 18%) werden als Wassergläser bezeichnet.

#### 1.4.2.7 Schaumglas

Ein Alkali-Erdalkali-Silikatglas üblicher Zusammensetzung wird geschmolzen und im heißen Zustand (beispielsweise in einem Walzenprozess) gefritten. Beim Fritten wird das Glasband mit Wasser besprüht, so dass es in kleine Krümel zerfällt. Diese werden aufgemahlen und mit gasenbindenden Stoffen, wie Erdalkalibarbonate, Sulfat und Wasser oder Kohlenstoff, gemischt. Als blähende Gase entstehen  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$ . Das Mahlgut wird in eine Form gebracht und durchläuft einen Tunnelofen. Hier erfolgt bei etwa  $650^\circ\text{C}$  eine Sinterung der Glasteilchen und somit eine Einbindung des Schaumbildungsmittels. Bei der nachfolgenden Erwärmung auf etwa  $900^\circ\text{C}$  läuft oberhalb der Erweichungstemperatur des Glases unter Schäumen der eigentliche Glasbildungsprozess ab.

#### 1.4.3 Weiterverarbeitung

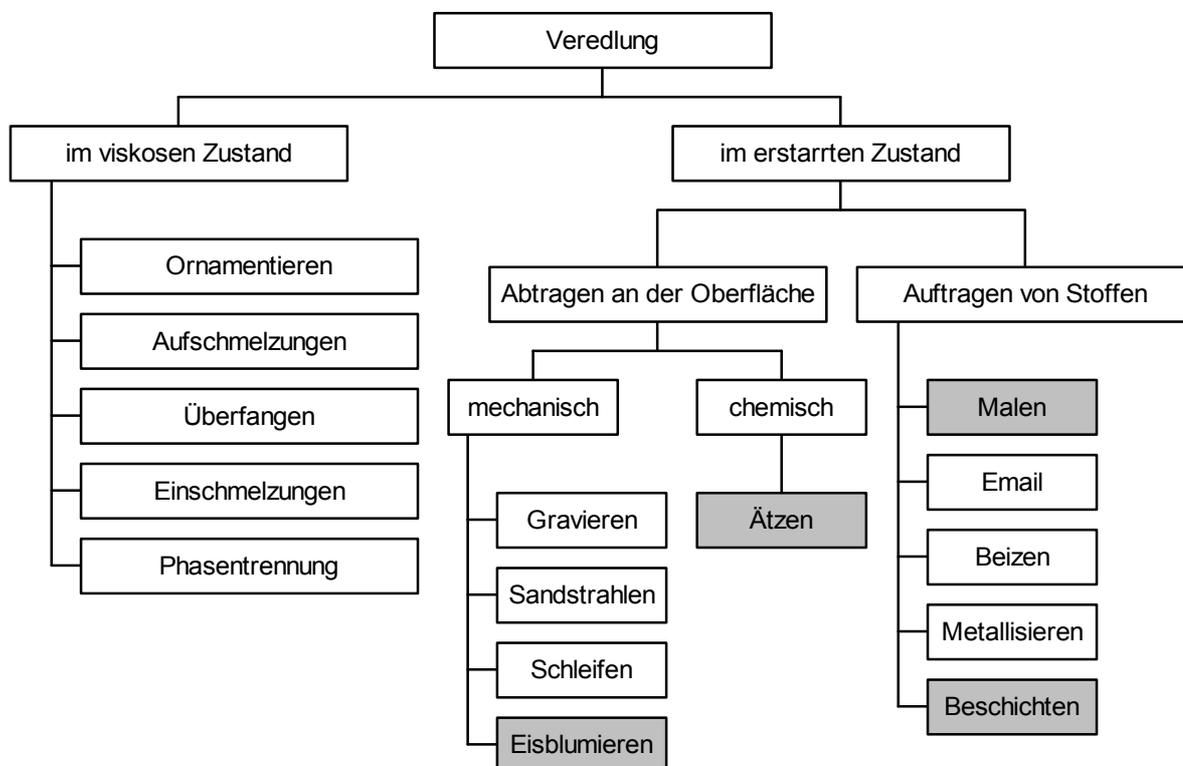
Die Anzahl der Weiterverarbeitungsverfahren für Glas ist groß.

Die Weiterverarbeitung von Gläsern erfolgt meist in den glasherstellenden Betrieben. So werden in einem Behälterglaswerk die Glasbehälter beschichtet und somit für den Transport unempfindlich. In Glaswerken für Stielgläser und Schmuckgläser werden diese veredelt.

Für Flachgläser trifft dies ebenfalls zu. Jedoch gibt es hier auch Veredlungswerke, die Flachgläser weiter veredeln, zum Beispiel beschichten.

Optische Gläser werden ebenfalls in den glasherstellenden Betrieben sowie in externen Werken veredelt.

Abbildung 1: Übersicht über Weiterverarbeitungsverfahren für Glas



##### 1.4.3.1 Beschichten

Nach der Formgebung schließt sich meist ein Vergütungsprozess an, in dem Beschichtungen aufgebracht werden. Diese Vergütung dient der Erhöhung der Festigkeit.

Vor etwa 100 – 50 Jahren wurden **Behältergläser** nur in sehr geringem Maße beschichtet. Diese Art der Oberflächenveredelung wurde im Zuge der Verbesserung der Haltbarkeit und Lebensdauer sowie zur Verringerung des Produktgewichts eingesetzt.

Beim **Hohlglas** unterscheidet man diese Vergütung in Heißendvergütung (vor der Kühlbahn) und Kaltendvergütung (nach dem langsamen Abkühlen). Bei der **Heißendvergütung** wird bei etwa 450 bis 500°C eine Vergütungsflüssigkeit aufgebracht, meist aufgespritzt. Sie reagiert mit dem in der Umgebungsluft vorhandenen Wasserdampf. Traditionell wird **Zinnchlorid** oder auch **Titanchlorid** verwendet. Diese Schicht erhöht die Bruch- und Kratzunempfindlichkeit, ist aber rau, so dass eine weitere Behandlung sich anschließt. An dieser Beschichtungsanlage ist ein Abzug zur Absaugung von Chlordämpfen installiert.

Bei der **Kaltendvergütung** werden bei Temperaturen unter 150°C **organische Schichten** aufgebracht, meist aufgespritzt. Diese Beschichtungsmittel bestehen aus wässrigen Lösungen mit etwa 0,1 bis 0,5% Stearat unter Netzmittelzusatz, oder Emulsionen aus Wasser und Wachsen, Ölsäuren und besonders auch Polyethylen oder seinen Derivaten wie Polyoxyethylenglykol oder –stearat. Diese Schichten bewirken eine hohe Gleitfähigkeit.

Bei **Flachglas** werden meist **Titanoxidschichten** aufgebracht, da Oxide von Metallen die Strahlungsdurchlässigkeit bzw. die Reflexion der Gläsern verändern können. Zur Erzeugung des  $\text{TiO}_2$  werden neben  $\text{TiCl}_4$  Tetrabutyl- oder –isobutyltitanat eingesetzt. Die Schichten werden durch Tauchverfahren in organischen Lösungen mit anschließender Wärmebehandlung oder durch Abscheidung aus der Dampfphase aufgebracht. Daneben kommen Beschichtungen mit Metallen, wie z. B. Nickel oder Gold z. T. mit anderen Metallen zur Abschwächung der Farbwirkung legiert und im Sichtbaren entspiegelt, zum Einsatz. Die Beschichtungen von Flachglas erfolgen in einer geschlossenen Beschichtungsanlage, in der die Anfallstoffe sofort abgezogen und recycelt werden. Flachglas wird erst seit 1995 im größerem Maße zum Zweck der Oberflächenveredelung, z. B. Wärmedämmung, beschichtet.

**Spiegel** werden mit **Silbernitrat** und **Lacken** beschichtet. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts erfolgte eine Beschichtung der Spiegel mit flüssigen Quecksilber. Die Quecksilberschicht wurde dann mit Lacken versiegelt.

#### 1.4.3.2 Säurepolieren/Ätzen

Das Säurepolieren gehört zu den bedeutendsten ätztechnischen Arbeitsverfahren zur Veredelung der Glasoberfläche. Mit Hilfe der Säurepolitur werden geschliffene Gläser, hauptsächlich Bleikristalle, oberflächenveredelt.

Unter der allgemeinen Bezeichnung „Ätzen“ ist die Veränderung der Oberfläche eines Körpers durch Säureeinwirkung zu verstehen. Für den eigentlichen Materialabtrag am Glas ist die Fluorwasserstoffsäure HF verantwortlich, die die Eigenschaft besitzt, Silikate unter Bildung von Fluoriden anzugreifen bzw. aufzulösen. Die dem Polierbad zugesetzte Schwefelsäure wandelt die sich beim Ätzprozess bildenden wasserunlöslichen Fluoride in wasserlösliche Sulfate um, die wiederum im Waschbad von der Glasoberfläche abgelöst werden.

Bei dem allgemein verwendeten Polierverfahren werden die Glasgegenstände mehrmals in ein 40 – 60°C heißes Polierbad aus 2 – 10% HF und 50 – 60%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  getaucht und anschließend gewaschen. Das wechselnde Eintauchen des Poliergutes in das Polierbad und in das Waschbad hat eine Verschleppung von erheblichen Flüssigkeitsmengen von einem in das andere Bad zur Folge. Dies bedingt einen häufigen Wechsel des Waschbades, eine Anreicherung des verdünnten Polierbades mit Säure und somit einen hohen Chemikalienverbrauch, einen hohen Altsäureanfall und eine starke Belastung der Neutralisationsanlage..

Das Sälzle-Verfahren hat das Waschbad durch ein Säurebad mit 60 – 70%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und 10 – 20 K höherer Temperatur ersetzt. Dadurch wird der Verschleppung der Schwefelsäure Einhalt geboten. Es wird dem Polierbad nur noch HF zugesetzt. Das Waschbad wird belüftet, so dass die niedrig siedende HF ausgetrieben wird und man das Waschbad nicht so oft erneuern muss. Vorteile dieses Verfahrens sind die Senkung des Chemikalienverbrauchs, die Verminderung des Altsäureanfalles und die geringere Belastung der Neutralisationsanlage.

Durch das Säurepolieren werden folgende Stoffe aus dem Glas gelöst:  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{PbF}_2$ ,  $\text{PbSO}_4$ ,  $\text{MeF}$ ,  $\text{Me}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{AsF}_3$  sowie Schwefelsäure und Flusssäure verbraucht.

### 1.4.3.3 Farbspritzen, Dekorieren, Beleuchtungsglas

Beleuchtungsglas wird zum großen Teil als Trübglass (Opalglas, Opakglas) hergestellt. Um die Trübung im Glas zu erreichen, werden dem Glasgemenge Trübungsmittel zugegeben. Das können sein: Kryolith, Flussspat, Kieselfluornatrium, Tridymit. In Abhängigkeit von mehreren Faktoren, z. B. Verweilzeit in der Schmelze, Glasbadtemperatur, ist die Verflüchtigung der Trübungsmittel – und damit die Emission der Fluorverbindungen – relativ hoch.

Beim Dekorieren werden Beleuchtungsgläser mit Farbdekor oder einem sogenannten Eisdekor versehen. Die verwendeten Farben bestehen zu 70% aus Blei. Sie werden in Spritzkabinen, die mit Absaugung versehen sind, aufgetragen. Danach erfolgt das Einbrennen im Tunnelofen. Farbspritzen, Einbrennen und die Einleitung der Reingase hinter der Absaug- und Filteranlage stellen Emissionsquellen dar.

## 1.5 Schadstoffe

### 1.5.1 Schadstoffe bei der Rohstoffaufbereitung und Gemengeherstellung

In Abhängigkeit von dem herzustellenden Glas (Glasart, Farbe des Glases, verwendetes Läutermittel, s. Kapitel 1.2) können die verwendeten Rohstoffe unterschiedliche Anteile an Schwermetallen enthalten. Bei dem Prozeß der Rohstoff- und Gemengeaufbereitung können diese durch die folgenden Prozesse in den Untergrund gelangen.

Bei der Entladung, beim Transport und beim Füllen der Rohstoffbunker entsteht Staub, ebenso bei der Zerkleinerung der Scherben. Die Gemengebereitung erfordert, die einzelnen Rohstoffe aus den Lagerbehältern, Bunkern oder Räumen abzuziehen, zu wiegen, zu mischen und zu transportieren. Dabei kann Staub entstehen.

Die Verstaubung steigt mit dem Anteil an manueller Arbeit, mit der Feuchtigkeitsabnahme des Gemenges und mit der Undichtheit des Mischers. Die Mischer sind heutzutage mit Absaugungen versehen, die abgeseugte Luft wird über einen Gewebeabscheider gereinigt.

Beim Transport des Gemenges mittels Mulden oder Förderbändern bis zum Vorratsbunker entsteht Staub hauptsächlich an den Übergabestellen von Transportbändern, an undichten Stellen von Mischermulden, beim Entleeren in den Bunker und an allen Bunkeröffnungen. Je größer die Beschleunigung des Gemenges beim Einlegen an offenen Stellen ist, um so größer ist die Verstaubung.

Beim Einlegen von angefeuchtetem Gemenge entsteht relativ wenig Gemengestaub. In Hafentöpfen und Tageswannen wird das Gemenge manuell eingelegt. Eine Verstaubung durch Einlegen tritt deshalb hier nur kurzzeitig auf.

### 1.5.2 Schadstoffe im Glasschmelzprozess

Abgase aus Glasschmelzöfen bestehen vorwiegend aus den Verbrennungsgasen der verfeuerten Brennstoffe sowie in geringerem Anteil aus Gemengegasen, die beim Einschmelzen des Gemenges durch die ablaufenden chemischen Reaktionen entstehen. Hauptabgasbestandteile sind CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Wasserdampf, Schwefeloxide und Stickoxide. Zusätzlich bewirkt die hohe Temperatur beim Einschmelzen des Gemenges und bei der Läuterung des Glases jedoch auch eine teilweise Verdampfung von Alkalien und gegebenenfalls von Blei- und Arsenverbindungen, Boraten und Fluoriden.

Bei Betrieben der Bleiglasindustrie ist in der unmittelbaren Umgebung der Standorte aufgrund der teilweisen Verdampfung von **Blei**verbindungen mit erhöhten Bleigehalten im Boden durch luftgetragene Schadstoffimmissionen zu rechnen.

Ein häufig bei chemisch-technischen und optischen Gläsern zur Anwendung gebrachtes Läutermittel ist **Arsentrioxid** in Gegenwart von Alkalinitraten. Arsentrioxid wird dabei sowohl in feinpulvriger Form als auch in Form von faustgroßen Stücken angewendet. Infolge seiner großen Dichte sinkt es rasch im Glasfluss unter und verdampft dabei unter kräftigem Duschbrodeln der Glasmasse. Bei diesem Prozess muss mit einer rein physikalischen Verdampfung von 10 – 50% des eingesetzten Arsens gerechnet werden. Bei Einsatz von Arsen als Läutermittel muß daher mit deutlich erhöhten Arsenimmissionen in der Umgebung der Standorte gerechnet werden.

**Fluoride** im Schmelzprozeß entstehen durch unerwünschte Verunreinigungen der Gemengerohstoffe. Weiterhin werden Fluoride als Schmelzbeschleuniger sowie bei der Blankschmelze als Läutermittel eingesetzt, indem sie die nach der Rauschmelze noch vorhandenen Gaseinschlüsse in Inhomogenitäten beseitigen. Durch Zugabe von Fluorid kommt es bei Überschreitung einer bestimmten Konzentration beim Abkühlen der Glasschmelze zur Bildung von Natriumfluorid- und Kalziumfluoridkristallen und damit zu einer Trübung des Glases. Die während des Schmelzprozesses im Abgas auftretenden Fluorverbindungen sind Fluorwasserstoff HF und Siliziumtetrafluorid SiF<sub>4</sub>.

Die Emission anorganischer gasförmiger **Chlor**verbindungen wird ebenso wie die Fluoremission durch unerwünschte Verunreinigungen einiger Rohstoffe verursacht. Während gasförmige Chloridemissionen vor allem bei schwerölbeheizten Anlagen auftreten, werden die Chloride bei erdgasbeheizten Anlagen überwiegend staubförmig als NaCl emittiert.

### **Staubemissionen**

Ein Großteil der beim Glasschmelzprozeß verdampften schwerflüchtigen Substanzen kondensiert nachfolgend mit dem fast immer vorhandenen Schwefel zu Sulfiden. Zum geringem Teil bilden sich auch Karbonate. Die Kondensation findet in kühleren Bereichen des Unterofens statt. Die Stäube emittieren zum Teil in die Umgebungsluft und verstärken in der Umgebung der Glasstandorte die oben beschriebenen Belastungen, zum Teil werden die Kondensate in den Regenerativkammern des Unterofens abgeschieden. Es ist nachgewiesen worden, dass die „leichte“ Soda im Gemenge im Gegensatz zu „schwerer“ oder „gekörnter“ Soda unterschiedliche Mengen von Ablagerungen in den Regenerativkammern hervorruft. Diese Ablagerungen liegen in der Größenordnung von einigen Zehntel Gewichtsprozent, die letztlich eine Verstopfung des Gitterwerkes der Regenerativkammern bewirken (s.u. Schadstoffe bei Abbruch von Glasschmelzwannen). In der nachfolgenden Tabelle werden die Staubkonzentrationen im Abgas bei verschiedenen Glasschmelzwannen dargestellt.

*Tabelle 5: Staubkonzentration im Abgas von Glasschmelzwannen*

<b>Glas</b>	<b>Brennstoff</b>	<b>Staubkonzentration in mg/m<sup>3</sup> Abgas</b>
Kalk-Natronglas	Erdgas	68 – 280
	Heizöl	103 – 350
Kalikristallglas	Ergas/Heizöl	45 – 402
Bleiglas	Ergas/Heizöl	272 – 1000
Boratglas	Ergas/Heizöl	120 – 957
Borosilikatglasfasern	Heizöl/Flüssiggas	1426 – 2425

Aus der Tabelle geht hervor, dass die ergasbeheizten Kalk-Natronglasschmelzwannen einen niedrigen Staubgehalt aufweisen als ölbeheizte Glasschmelzwannen. Dies ist in erster Linie auf dem im Öl enthaltenen Schwefel zurückzuführen, der bei der Verdampfung von Alkalien eine Rolle spielt. In den angegebenen Bandbreiten spiegeln sich die verschiedenen Einflussgrößen wider, z. B. die Oberofentemperatur, der Schwefelgehalt des Gemenges, die spezifische Schmelzleistung und der Anteil leicht verdampfender Komponenten.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass auch mit einer Verdampfung von Oxiden seltener Erden aus entsprechenden Spezialgläsern zu rechnen ist.

Glasschmelzanlagen mit vollelektrischer Schmelze weisen einen wesentlich geringeren Auswurf an Luftschadstoffen auf als flammenbeheizte Schmelzwannen, da hier das Brennstoffabgas fehlt. Der Staubgehalt des in geringen Maß entstehenden Abgases entsteht hier weitgehend aus der unmittelbaren Verstaubung des Gemenges beim Einlegen. Der Anteil des Feinstaubes (< 10µm) am Gesamtstaub ist daher sehr gering. Eine weitere Reduzierung der Schadstoffe liegt in dem Einsatz von Glasscherben. Dadurch wird der Ausstoß von CO<sub>2</sub> und Stickoxiden erheblich verringert.

### **1.5.3 Schadstoffe beim Einsatz von Schmiermitteln und Kompressorenölen**

Schmiermittel und Kompressorenöle werden im Produktionsbereich wie bei allen Branchen mit größerem Maschineneinsatz vielfältig verwendet und sind somit als relativ branchenunspezifische Schadstoffe anzusehen.

Ein branchenspezifisch besonders hoher Einsatz von Schmiermitteln erfolgt bei der Formgebung von Behältergläsern. Die hierfür erforderlichen Formen müssen ständig geschmiert werden, so dass bei diesen Standorten im Bereich der Formgebung, aber auch im Bereich von Abscheideeinrichtungen und evtl. Leckagen von Abwasserleitungssystemen mit hohen Konzentrationen an MKW gerechnet werden muß. In neueren Werken werden die Schmiermittel bei der Formgebung von Wirtschaftsglas auf einer Wasser-Öl-Basis im Kreislauf gefahren.

#### 1.5.4 Schadstoffe bei der Veredlung von Glasprodukten

Bei der **Vergütung** von Hohlgläsern werden Zinn oder Titanchloride in der Heißendvergütung und organische Verbindungen in der Kaltendvergütung freigesetzt. Bei der Heißendvergütung gelangen nur etwa 10% des Zinn- oder Titanchlorides auf das Produkt, der Rest findet sich im Abgas wieder. Der Verbrauch an  $\text{SnCl}_4$  ist daher sehr hoch; das Abgas wird sehr stark mit  $\text{HCl}$  und  $\text{SnO}_2$  belastet. In der Umgebung dieser Werke ist daher mit erhöhten Zinnkonzentrationen im Boden zu rechnen.

Durch das **Säurepolieren** werden folgende Stoffe aus dem Glas gelöst:  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{PbF}_2$ ,  $\text{PbSO}_4$ ,  $\text{MeF}$ ,  $\text{Me}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{AsF}_3$  sowie Schwefelsäure und Flusssäure verbraucht. Die über den Bädern entstehenden HF-Dämpfe werden über Absaugvorrichtungen abgesaugt und Absorptionsanlagen zugeleitet. Es ergeben sich erhebliche Belastungen in den Arbeitsräumen und der Atmosphäre.

Beim **Dekorieren** werden Beleuchtungsgläser mit Farbdekor oder einem sogenannten Eisdekor versehen. Die verwendeten Farben bestehen zu 70% aus Blei. Sie werden in Spritzkabinen, die heutzutage mit Absaugung versehen sind, aufgetragen. Danach erfolgt das Einbrennen im Tunnelofen. Farbspritzen, Einbrennen und die Einleitung der Reingase hinter der Absaug- und Filteranlage stellen Emissionsquellen dar.

Beim **Beschichten von Spiegeln** ist mit der Emission von Silbernitrat und BTEX (Lacke) zu rechnen. Bei Betriebsstandorten, die vor 1900 betrieben wurden, muss zudem mit erhöhten Quecksilbergehalten im Boden gerechnet werden.

#### 1.5.5 Schadstoffe beim Abbruch von Glasschmelzwannen

Glasschmelzwannen müssen durch Verschleiß der feuerfesten Baustoffe im Inneren der Glasschmelzwanne und der Regeneratoren erneuert werden. Dabei fällt in der Schmelzwanne direkt kein kontaminiertes Material an. Die feuerfesten Materialien können zum Untergrundbau für Straßen, Gebäuden oder zur Verfüllung von Hohlräumen genutzt werden.

Die Einbauten im Regenerator und der Regenerator selbst können hingegen durch die Verstaubung der eingelegten Gemengerohstoffe und die Kondensation von Glasschmelzprodukten in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung der Glasschmelze sehr hohe Konzentrationen an Schwermetallen aufweisen. Dabei ist anzumerken, dass auch in Glasschmelzen, in denen Schwermetalle nicht explizit zugesetzt wurden, sie zumindest in kleineren Mengen als Verunreinigungen enthalten sind und sich im Kondensat aufkonzentrieren. Es ist anzunehmen, dass bei einigen Altstandorten Bestandteile der Regenerativkammern auf dem Betriebsgelände abgelagert wurden.

Eine Wannenreise, das ist die Zeit vom Aufbau bis zur Erneuerung, betrug vor den 50er Jahren etwa 2 bis 3 Jahre. Damals war die Belastung der Wannen durch die eingesetzten Rohstoffe und die mindere Qualität der feuerfesten Baustoffe sehr hoch. In den heutigen Zeiten spricht man von einer Wannenreise von etwa 10 Jahren.

Zum Teil wurden als Feuerfestmaterialien auch Chromoxidsteine verwendet. Das in dreiwertiger Form vorliegende Chrom ist dabei jedoch so stark gebunden, dass es nur in sehr geringen Maße zu einem Austrag kommen wird.

#### 1.5.6 Schadstoffe bei Verwendung von Altglas

Die im Altglas gebundenen bedenklichen Stoffe (z.B. Chrom (III)-Oxide bei Grünglas, Bleioxide bei Bleikristallgläsern) sind fest in das Glasgitter eingebaut und werden nur in sehr geringen Maße an die Umwelt abgegeben. Der Auslaugungsmechanismus erfolgt in wässrigen Medien nur in einer oberflächenschicht von etwa 1 – 2  $\mu\text{m}$ . Durch eine Verarmung der Oberfläche an diesen relativ leicht herauszulösenden Ionen wird der weitere Transport erschwert. Meist werden nur Alkalien aus dem Glas herausgelöst.

Eine Bodenbelastung durch Schwermetalle erfolgt somit nur in sehr geringen Maße.

### 1.5.7 Schadstoffe bei der Herstellung von Generatorgas

Sofern kein Öl als Brennstoffquelle verwendet wurde, wurde bis Ende der 1960er Jahre in vielen Glaswerken Generatorgas für die Energieerzeugung selbst erzeugt. Bei der Herstellung von Generatorgas ist mit hohen Schadstoffemissionen an PAK, Phenolen, BTEX, Kohlenwasserstoffen und Cyaniden zu rechnen.

Die Generatorgasanlage und die dazugehörigen Anlagen (vor allem Teergrube) sind bei Glasfabriken oftmals die am stärksten kontaminierten Bereiche. **Die Klärung der Frage, ob Generatorgas am Standort erzeugt wurde, ist daher von entscheidender Bedeutung.**

Da die Altlastenrelevanz von Generatorgasanlagen in einem separaten Branchenblatt behandelt wurde, Branchenblatt 2: Gaswerke und Kokereien, sei an dieser Stelle darauf verwiesen.

### 1.6 Zusammenfassung der altlastenrelevanten Stoffe und Stoffgruppen und deren Zuordnung zu Analyseparametern

Tabelle 6: *Altlastenrelevante Stoffe und Stoffgruppen für die Glasherstellung sowie chemische Analyseparameter*

Verfahrensschritt	Wirkstoffe/Inhaltsstoffe	Analysenparameter
Rohstoffanlieferung und Schmelzprozeß	<p><u>Glasrohstoffe:</u> Siliziumdioxid, Oxidverbindungen von Natrium, Calcium, Magnesium, Barium und Aluminium, bei Bleisilikatglas: zusätzlich Bleioxid, bei Borosilikatglas: zusätzlich Borverbindungen bei Sondergläsern: Ceroxid, Schwefel, Selen, Tellur, Beryllium, Fluorid, Nitrat, Phosphat, Vanadat</p> <p><u>Läutermittel:</u> Arsenverbindungen, Antimonverbindungen, Aluminiumnitrat, Bariumverbindungen, Fluoride</p> <p><u>Farbrohstoffe:</u> - Ionenfärbung: Oxide von Eisen, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Uran, - Anlauffarben: Cadmiumselenid, Cadmiumsulfid, Goldchlorid, Kupferoxid, Silbernitrat, früher in geringen Mengen auch weitere Schwermetallsulfide und Selenide</p> <p><u>Schmelzbeschleuniger:</u> Fluorid</p> <p><u>Oxidationsmittel:</u> Bariumnitrat</p>	<p>Leitfähigkeit, Blei, Barium, Bor,  bei Herstellung von Sondergläsern: s. nebenstehende Stoffe</p> <p>Arsen, Antimon, Barium, Fluor</p> <p>Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel, (Uran) Cadmium, Kupfer, Sulfid, (Chlorid, Selen, Gold, Silber, weitere Schwermetalle)</p> <p>Fluorid</p> <p>Barium</p>
Beschichtung	<p><u>Heißendvergütung:</u> Zinnchlorid, Titanchlorid, in geringerem Maße: Nickel, Gold und andere Metalle</p> <p><u>Kaltendvergütung:</u> Stearat, Wachse, Ölsäuren, Polyethylen, Polyoxyethylenglykol oder -stearat.</p>	<p>Zinn, Titan, Nickel, (Gold), Chlorid</p> <p>Kohlenwasserstoffe</p>
Ätzen	Einsatz von Flusssäure, Schwefelsäure, Herauslösung von: $\text{SiF}_4$ , $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{PbF}_2$ , $\text{PbSO}_4$ , $\text{MeF}$ , $\text{Me}_2\text{SO}_4$ , $\text{BF}_3$ , $\text{AsF}_3$	Schwermetalle, Bor, Fluorid, Sulfat
Trübung	Kryolith, Flussspat, Kieselfluornatrium, Tridymit.	Fluor
Farbdekor	Bleifarben	Blei
Spiegelherstellung	Silbernitrat, Lacke, bei Betriebsbeginn vor 1900: Quecksilber	Silber, BTEX, evtl. Quecksilber
Sonstige Produktionsbereiche	Formenschmierstoffe, Hydraulik- und Schneidöle	Kohlenwasserstoffe
Herstellung von Generatorgas	Sofern kein Öl oder Stadtgas verwendet wurde, ist eine Erzeugung von Generatorgas bei allen Standorten mit Betriebs-	PAK, KW, BTEX, Phenole, Cyanid

	beginn vor 1960 anzunehmen. Braunkohlenteer, Ammoniakwasser, Schlacke	
--	--	--

## 2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

### 2.1 Altlastenrelevanz

Die Altlastenrelevanz von Standorten der Glasherstellung und Glasverarbeitung variiert sehr stark. Wesentlich für die Bewertung der Altlastenrelevanz sind vor allem die folgenden Faktoren.

- Produktpalette der hergestellten Gläser (besonders altlastenrelevant: Bleisilikatglas, z.T. auch Sonderglas)
- Wurden farbige Gläser hergestellt ? (bei Farbgläsern vor allem Chromate [Grün glas], z.T. auch andere Schwermetalle)
- Läuterung der Gläser (Wurde Arsen als Läutermittel verwendet?)
- Erfolgte eine Weiterverarbeitung von Gläsern (besonders altlastenrelevant: Säurepolieren, Farbdekoriere n, Beschichten)
- Erzeugung von Generatorgas am Standort. (In diesen Fällen ist generell von einer hohen Altlastenrelevanz auszugehen. )

Nach Klärung der o.g. Fragen können unter Verwendung der Tabelle 6, die am Standort potentiell zu erwartenden Schadstoffe eingeschätzt werden.

Diese potentiellen Schadstoffe können bei den folgenden Prozessen in den **Boden** gelangen und sich dort anreichern:

- Anlieferung und Lagerung der angelieferten Rohstoffe (u.a Umfüllverluste, Leckagen)
- Schmelzprozeß und Läutern: Verdampfung von Schwermetallen und Schmierstoffen, anschließende Kondensation auf Abkühlstrecke
- Nach Abriß der Glasschmelzwannen (Wannenreißer bei Altstandorten alle 1 bis 2 Jahre), Ablagerung der mit stark schadstoffbelasteten Kondensat angereicherten Feuerfestmaterialien
- Beschichten und Dekorieren: Emission von Luftschadstoffen und anschließende Immission
- Säurepolieren: Abtrag schwermetallhaltiger Schichten, Emission der Abriebmassen)

Vom eigentlichen Glasherstellungs- bzw. Weiterverarbeitungsprozeß getrennt zu betrachten ist die Problematik der Generatorgasherstellung. Bei der Erzeugung von Generatorgas ist mit dem Anfall folgender Schadstoffe zu rechnen:

PAK, KW, BTEX, Phenole, Cyanid

Bei der Altlastenerkundung von Standorten, bei denen Generatorgas hergestellt wurde, sind die Hinweise des Branchenblattes 2 'Gaswerke / Kokereien' zu beachten.

Mit einer Belastung der **Bodenluft** ist an Standorten zu rechnen, an denen Generatorgas erzeugt wurde. Hier können vor allem im Bereich evtl. vorhandener abgedeckter Teergruben hohe BTEX-Gehalte vorkommen. Bei Freilegung der Gruben können diese BTEX in die **atmosphärische Luft** entweichen. Ansonsten können erhöhte Emissionen über den Luftpfad nach Stilllegung der glasherstellenden und glasverarbeitenden Betriebe weitgehend ausgeschlossen werden.

Die Gefährdung des **Grundwassers** ist von den am Standort verwendeten Stoffen (s.o.) sowie von den hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort abhängig. Verallgemeinernde Aussagen können nicht getroffen werden.

Eine Gefährdung von **Oberflächenwasser** war vor allem während des Betriebes relevant (vor allem Eintrag von Kompressions- und Schmierölen). Bei Altstandorten ist bei entsprechenden Standortbedingungen eine Kontamination über den Pfad Boden-Grundwasser-Oberflächenwasser möglich.

### 2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Folgende Schutzgüter können gefährdet sein (Reihenfolge entsprechend der Gefährdung):

- Boden (Bodenluft nur, wenn am Standort Generatorgas erzeugt wurde)
- Grundwasser
- Oberflächenwasser

Menschen, Tiere und Pflanzen sind durch die Nutzung der o. g. Schutzgüter bzw. durch den direkten Kontakt gefährdet.

## 2.3 Gefährdungsabschätzung nach der Sächsischen Altlastenmethodik

Aufgrund der vorkommenden Schadstoffe ist in jedem Fall für Standorte der Glasherstellung und Glasverarbeitung eine Gefährdungsabschätzung durchzuführen.

### 2.3.1 Verdachtsfallerfassung und Formale Erstbewertung

Die Verdachtsfallerfassung und Erstbewertung erfolgen nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997) im Sächsischen Altlastenkataster (SALKA). Folgende Kriterien sind bei Standorten der Textilveredlung/Färberei zu beachten:

**(7) Art der Verdachtsfläche:** Standorte der Glasherstellung / Glasverarbeitung sind prinzipiell als Altstandorte mit den in Abschn. 1.3 bezeichneten Produktionsbereichen zu bewerten. Weiterhin können am Standort Ablagerungsflächen vorhanden sein (z.B. Teergrube, Gruben mit Feuerfestmaterialien), die gesondert zu betrachten sind.

**(14) Kontaminierte Fläche oder Flächenklasse/mittlere Mächtigkeit:** Häufig ist nicht die gesamte Betriebsfläche kontaminiert, so dass die möglicherweise betroffenen Teilflächen zur Kontaminationsfläche zu addieren sind. Hierzu zählen insbesondere der Produktionsbereich (Herstellung und Weiterverarbeitung), der Lagerbereich, sofern vorhanden: Bereich der Generatorgasanlage und mögliche Ablagerungsbereiche (Wannenabbruch, Teergrube).

**(20 A) Abgelagerte Schadstoffe:** Bei den betrieblichen Altablagerungen ist vor allem mit den folgenden Stoffen zu rechnen (Bezeichnung nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997)).

Tabelle 7: Umweltrelevante Abfälle von Standorten Glasherstellung / Glasverarbeitung

Abfallnummer	Abfallart	Gefährdungsklasse
31108	Ofenausbruch aus nicht metallurgischen Prozessen	44
31109	Ofenausbruch aus nicht metallurgischen Prozessen mit prod.-spez. Beim.	44
31305	Braunkohleasche	33
31408	Glasabfälle	22
31414	Schamotte	22
31421	Kohlenstaub	
31433	Glas- und Keramikabfälle mit prod.-spezif. Beimengungen	44
31617	Glasschleifschlamm	44
31633	Glasschleifschlamm mit prod.-spezif. Beimengungen	44
39904	Gasreinigungsmasse	
52100	Säuren, anorganisch	55
54170	Schleifschlämme, ölhaltig	44
54913	Teerrückstände	44
91100	Hausmüll	33

### (20 S) Einordnung nach Branchenschlüssel oder Klassennummer

Tabelle 8: Einordnung der Standorte von Glasherstellung/Glasverarbeitung in Branchennummer, Branche und Gefährdungsklassen

Branchennummer	Branche	Gefährdungsklasse
0530	Herstellung und Verarbeitung von Glas	24

Nach Tabelle 4 wird bewertet, wenn keine konkreten Schadstoffe bekannt sind.

### 2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Die Historische Erkundung ist nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998a) durchzuführen und nach BBODSCHV (1999) sowie nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995b) für Boden, nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995a) für Grundwasser und (nach Veröffentlichung) entsprechend nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a) für Oberflächenwasser zu bewerten.

Zugehöriges EDV-Programm: GEFA V3.0 nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996a und b).

Es ist zu empfehlen, den Standort in mehrere Teilflächen entsprechend der Technologie zu unterteilen und diese getrennt zu bewerten bzw. zu untersuchen. Wichtig sind Recherchen zur Produktpalette der hergestellten Gläser, den verwendeten Rohstoffen, den Schmelz- und Verarbeitungsverfahren und dem Produktionszeitraum. Die Informationsdichte und -qualität ist für die Risikobewertung entscheidend.

Bei der nachfolgenden Erläuterung der formalen Bewertung sind je nach Schadstoffart unterschiedliche r- und m-Werte angegeben. Sofern die Schadstoffzusammensetzung am Standort nicht bekannt ist, ist als 'worst-case-Szenario' jeweils der höchste der in Frage kommenden Werte anzunehmen.

#### Stoffgefährlichkeit - $r_0$

- $r_0 = 0,5-5,5$ , nach Brancheneinstufung SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung). Die sehr weite Spanne bei der Brancheneinstufung ist berechtigt, da die Stoffgefährlichkeit bei der Herstellung/Weiterverarbeitung von Glas in besonders hohem Maße von den konkreten Gegebenheiten abhängt (s. Kapitel 2.1).

Die Einstufung der Stoffgefährlichkeit ist letztlich von den verwendeten Stoffen abhängig.

In der folgenden Tabelle werden einige häufig auftretende Voraussetzungen genannt, bei denen das Vorkommen bestimmter Schadstoffe als sicher angenommen und die Stoffgefährlichkeit nach Stoffgruppen bewertet werden kann:

Tabelle 9: *Bedingungen unter denen das Auftreten best. Schadstoffe als sicher vorausgesetzt werden kann und Stoffgefährlichkeit  $r_0$  dieser Schadstoffe*

Bedingungen	Parameter	$r_0$ (hum)-Wert		$r_0$ (öko)-Wert
		oral	inhalativ flüchtig, (staubförmig)	
Herstellung von Bleisilikatgläsern	Bleiverbindungen	3,0	(3,0)	5,5
Herstellung von Grünglas	Chrom(III)oxid	2,6		4,1
Verwendung von Arsenik als Läutermittel	Arsen	5,1	(5,4)	5,3
Herstellung von Generatorgas	PAK	5,4	(5,2)	
	BTEX	3,6	3,5	

**Verwendung der  $r_0$ -Werte:** Für die Schutzgüter Grundwasser und Boden sind im Normalfall die  $r_0$  (hum) oral-Werte zu verwenden. Bei Relevanz einer staubförmigen Verwehung ist beim Schutzgut Boden zusätzlich der  $r_0$  (hum) inhalativ, staubförmig - Wert zu berücksichtigen.

Für das Schutzgut Luft ist der  $r_0$  (hum) inhalativ, flüchtig – Wert heranzuziehen.

Der  $r_0$  (öko)-Wert berücksichtigt die toxikologische Relevanz der Schadstoffe für Gewässerorganismen. Bei dem Schutzgut Oberflächenwasser ist dieser Werte daher zusätzlich zu dem  $r_0$  (hum) oral-Werten heranzuziehen.

### Örtliche Bedingungen, m-Werte

Im folgenden werden die schadstoffabhängigen Einflußfaktoren eingegrenzt. Die spezifischen Standortbedingungen sind einzelfallbezogen zu bewerten.

#### Grundwasser - $m_I$

- Lage zum Grundwasser:  $m_I = 1,2$  (im ungesättigten Bereich); Ausnahme, wenn verfüllte Gruben (z.B. Teegruben) im Grundwasserwechselbereich liegen
- Löslichkeit - Aggregatzustand: Von den potentiell vorkommenden Schadstoffe weisen die folgenden eine Löslichkeit von  $>100$  mg/l (leicht löslich) auf: anorganische Säuren, Fluorid, Chlorid, Bor, MKW, BTEX, As, Zn, Cd, Ni,  $\Delta m = \pm 0$ .  
Eine Löslichkeit zwischen 0,1 mg/l und 100 mg/l (löslich) ist bei den potentiellen Schadstoffen Pb, Hg, Cu, Cr und PAK gegeben,  $\Delta m = -0,3$ .

#### Grundwasser - $m_{II}$

- Sorbierbarkeit:  
niedrige Sorbierbarkeit bei den potentiellen Schadstoffen: anorganische Säuren, Fluorid, Chlorid, Bor, mittlere Sorbierbarkeit bei MKW, BTEX, hohe Sorbierbarkeit bei Schwermetallen, PAK.  
Bei Stoffgemischen ist der Stoff mit der niedrigsten Sorbierbarkeit für die Gefährdungsabschätzung herauszuziehen, unter Berücksichtigung des Humus- oder Tonanteils.
- Acidität: Sofern zur Weiterbehandlung der Gläser eine Säurepolitur (Ätzen) vorgenommen wurde, sind in diesem Bereich saure Verhältnisse anzunehmen. Da hierdurch die Mobilität der Schwermetalle erhöht wird:  $\Delta m = +0,1$  sonst  $\Delta m = \pm 0$
- Lösungsvermittler sind bei Vorkommen von BTEX vorhanden:  $\Delta m = +0,1$ , sonst  $\Delta m = \pm 0$
- Abbaubarkeit: Für die Schadstoffe BTEX und MKW ist eine relevante Abbaubarkeit gegeben, für PAK und anorganische Stoffe ist dies nicht der Fall.

#### Grundwasser - $m_{III}$

- Sorption: Bewertung analog  $m_{II}$ -Wert in Abhängigkeit vom Ton- und Humusgehalt des Grundwasserleiters
- Abbaubarkeit: Für MKW und BTEX findet ein relevanter Abbau auch im Grundwasser statt (aber geringere Abbauleistungen als im Boden):  $\Delta m = -0,1$ , sonst  $\Delta m = \pm 0$ .

#### Grundwasser - $m_{IV}$

- Aufbereitungsmöglichkeiten: Die am Standort potentiell vorkommenden grundwassergefährdenden Schadstoffe werden bei der normalen Trinkwasseraufbereitung nicht erfaßt oder bereiten zumindest große Probleme für die Aufbereitung:  $\Delta m = \pm 0$
- Verdünnung: Hauptsächlich von der Ergiebigkeit des Grundwasserleiters abhängig, ferner von der Löslichkeit (s.o.) und der Schadstoffkonzentration

#### Boden - $m_I$

Fallzuordnung: Bei Altstandorten sind meist nur die Fälle 1 und 2 relevant:

Fall 1: Der zu schützende Boden ist die Altlast selbst;  $m_I = 1,0$  sowie

Fall 2: Der zu schützende Boden liegt in der Umgebung der Altlast;  $m_I = 0,6$

Je nach Fall sind die folgenden Schadstoffeigenschaften zu spezifizieren:

- Flüchtigkeit: eine hohe Flüchtigkeit ist bei BTEX gegeben. Die anderen potentiellen Schadstoffe weisen keine erhöhte Flüchtigkeit auf.
- Löslichkeit: (s. Grundwasser)
- Sorption: s. Grundwasser
- Lösungsvermittler: s. Grundwasser:

#### Boden - $m_{II}$

Der Schadstoffeintrag ist von den standortspezifischen Bedingungen abhängig und danach zu bewerten.

### **Boden - m<sub>III</sub>**

- Chemische und mikrobielle Abbaubarkeit: MKW, BTEX: wesentlicher Abbau möglich,  $m_{III} = 0,8$ ; PAK: eingeschränkte biologische Abbaubarkeit,  $m_{III} = 0,9$ ; anorganische Stoffe: kein relevanter Abbau möglich:  $m_{III} = 1,0$
- Toxische Abbauprodukte: Es ist nicht mit stark toxischen Abbauprodukten zu rechnen:  $\Delta m = \pm 0$
- Verweilzeit im Boden: Bei PAK und Schwermetallen sehr lange:  $\Delta m = \pm 0$
- Sorption/Bindungsstärke:
  - a) Bewertung bezüglich oraler Schadstoffaufnahme: Der ungünstigste Fall muß angenommen werden. PAK, Schwermetalle können an Humus-/Tonbestandteile gebunden werden:  $\Delta m = +0,1$
  - b) Bewertung bezüglich Bioverfügbarkeit: Relativ gut verfügbar sind die organischen Schadstoffe MKW und BTEX. PAK sind schlecht verfügbar. Die Verfügbarkeit der Schwermetalle ist stark vom pH abhängig, bei sauren Böden mit  $pH < 5$  steigt die Verfügbarkeit meist deutlich an. Relativ gut verfügbar sind Zn, Cd, As, Ni, während Cu, Hg, Cr und Pb meist stark sorbiert und nur wenig verfügbar sind.
- beobachtete Wirkung: Bei festgestellten Bodenveränderungen (Verfärbung, Geruch) oder beeinträchtigtem Pflanzenwuchs:  $\Delta m = +0,1$  bis  $+0,2$

### **Boden - m<sub>IV</sub>**

Im Stadium der Historischen Recherche liegen im allgemeinen noch keine indikativen Untersuchungen vor. Nutzungskriterien sind gemäß dem Standort zu bewerten.

## **2.3.3 Technische Erkundung (Beweisniveau 2 und 3) und Bewertung**

Die Orientierende Untersuchung ist auf Grundlage von BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) gemäß SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDES-ENTWICKLUNG (1995a und b) und SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a) durchzuführen.

Prüf- und Maßnahmenwerte sind der BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999) zu entnehmen. Für Parameter, bei denen keine Prüf- und Maßnahmenwerte existieren, sind Orientierungswerte aus SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu entnehmen.

Zur qualitativen Erfassung der Kontaminationsschwerpunkte sind neben der Erfassung bodenkundlicher, geologischer und hydrogeologischer Daten chemisch-physikalische Untersuchungen erforderlich.

Die Tabellen 8 und 9 enthalten das - im konkreten Fall nach den Ergebnissen der Historischen Erkundung anzupassende - Analytikspektrum für Boden und Grundwasser (bzw. Eluat) sowie eine mögliche Parametererweiterung für die Detailuntersuchung (Beweisniveau 3). Spezielle Einzelsubstanzen werden im Stadium der Orientierenden Untersuchung meist noch nicht untersucht. Auf Beweisniveau 2 nachgewiesene Substanzen müssen selbstverständlich bei der Detailuntersuchung weiteruntersucht werden.

Die Detailuntersuchung ist nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung b) durchzuführen und zu bewerten.

### **Boden**

In der Orientierenden Erkundung ist vor allem durch Bodenproben zu überprüfen, ob der Verdacht einer Altlast ausgeräumt werden kann oder ein hinreichender Verdacht im Sinne des §9 Abs 2 Satz 1 des Bundesbodenschutzgesetzes besteht. Wesentlich hierbei ist demnach, dass alle potentiellen Eintragsorte sowie das potentielle Schadstoffspektrum mit den Bodenproben erfaßt werden. Die Sondierungen sind zumindest so tief abzuteufen, dass keine wesentliche Kontamination (durch Tiefenverlagerung oder unterirdischen Eintragsort) unentdeckt bleibt. Bei den zu untersuchenden Schadstoffparametern ist vor allem auf Summenparameter abzielen. Die Probenahme ist nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998b) durchzuführen.

### **Grundwasser**

Grundwassererkundungen sind auf dem Niveau einer Orientierenden Erkundung durchzuführen wenn

- abzusehen ist, dass auch bei einem negativen Befund der Bodenuntersuchung eine Grundwassergefährdung nicht ausgeschlossen werden kann (z.B. bei Standorten mit sehr vielen potentiellen Eintragsquellen,

Standorten mit Informationsdefiziten, Standorten, bei denen ein bereits erfolgter weitgehender Schadstoffübergang vom Boden ins Grundwasser nicht auszuschließen ist etc.)

- eine Grundwasserkontamination nach den Ergebnissen der Historischen Erkundung wahrscheinlich ist und mit angemessenem Aufwand durchführbar ist.
- Hinweise vorhanden sind, dass bei dem Standort konkrete Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ergriffen werden müssen.

Angetroffenes Schichtenwasser ist nach Möglichkeit mit zu untersuchen.

### Bodenluft

Bodenluftuntersuchungen auf BTEX sind bei Standorten der Glasherstellung in der Regel nur angezeigt, wenn am Standort Generatorgas erzeugt wurde.

Die folgenden Tabellen 8 und 9 geben die Parameter an, auf die bei Orientierender Erkundung und Detailerkundung untersucht werden sollte.

Tabelle 10: *Physikalisch-chemische Grundparameter für die Orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung*

Grundparameter	Boden	Eluat	Grundwasser
Geruch, Farbe, Aussehen	X	X	X
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit		X	X
Temperatur, O <sub>2</sub> -Gehalt, Redoxpotential			X
Trockensubstanz	X		
Konsistenz	X		
TOC/DOC	X		X
Gesamthärte			X

Da es bei Standorten der Glasherstellung/ -weiterverarbeitung stark auf die speziellen Gegebenheiten ankommt, wird in der Spalte Bemerkungen / Hinweise angegeben, unter welchen Voraussetzungen die jeweiligen Stoffe untersucht werden sollten.

Tabelle 11: *Analysenplan mit branchenspezifischen Parametern für die Orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung*

Parameter	Boden	Grundwasser, Eluat	Beweisniveau	Bemerkungen/Hinweise
IR-KW	X	X	2	
BTEX	(X <sup>1</sup> )	(X)	2	nur bei Herstellung von Generatorgas, sofern keine Informationen hierzu vorliegen: bei Betriebsbeginn vor 1960
PAK	(X)	(X)	2	nur bei Herstellung von Generatorgas, sofern keine Informationen vorliegen: bei Betriebsbeginn vor 1960
Antimon	(X)	(X)	2	Bei Verwendung von Antimon als Läutermittel
Arsen	X	X	2	Bei Verwendung von Arsen als Läutermittel oder Ablagerung von Feuerfestmaterialien
Barium	X	X	2	
Blei	X	X	2	Herstellung von Bleisilikatglas, Beleuchtungsglas, Farbdekor oder Ablagerung von Feuerfestmaterialien
Cadmium	X	X	2	Herstellung von Anlaufgläsern oder Ablagerung von Feuerfestmaterialien
Chrom <sub>ges.</sub>	X	X	2	Grünglasherstellung oder Ablagerung von Feuerfestmaterialien
Chrom <sub>III</sub>	X	X	3	"
Chrom <sub>VI</sub>	X	X	3	"
Nickel	(X)	(X)	2	spezielles Grünglas oder Einzug von Nickeldraht
Kobalt	(X)	(X)	2	Blauglas
Kupfer	(X)	(X)	2	Herstellung von Blauglas oder roten Anlaufgläsern oder Ablagerung von Feuerfestmaterialien

Fortsetzung Tabelle 9: Analysenplan mit branchenspezifischen Parametern für die Orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung

Silber	(X)	(X)	2	Herstellung gelber Anlaufgläser oder Spiegel
Zinn	X	X	2	Weiterverarbeitung: Beschichtung oder Ablagerung von Feuerfestmaterialien
Zink	(X)	(X)	2	Ablagerung von Feuerfestmaterialien
Bor		X	2	Herstellung von Borosilikatglas oder Alumosilikatglas oder Weiterverarbeitung: Säurepolitur
Chlorid		X	2	
Fluorid		X	2	
Selenid	(X)	(X)	3	Herstellung von Anlaufgläsern
Cyanid	(X)	(X)	2	nur bei Herstellung von Generatorgas, sofern keine Informationen vorliegen: bei Betriebsbeginn vor 1960

<sup>1</sup> Bodenluft

X Untersuchung, sofern Voraussetzungen zutreffen oder Informationen unsicher sind

(X) Untersuchung nur, sofern spezielle Hinweise vorliegen

### Bewertung

Eine Bewertung auf BN 2 erfolgt analog der formalen Bewertung bei der Historischen Erkundung. Es sind die Schadstoffe zu bewerten, die als relevant nachgewiesen wurden (und davon der Stoff mit dem höchsten r- bzw. m-Wert).

Auf Beweinsniveau 3 reicht diese Bewertung nicht mehr aus. Es sind Schadstofffrachten abzuschätzen und anhand von standortbezogenen Expositionsszenarien zu klären, ob eine Gefahr vorliegt.

## 2.4 Sanierung

Entscheidend für eine Sanierung könnten am Standort Glasherstellung/Glasverarbeitung erhebliche Kontaminationen des Bodens und des Grundwassers durch Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe sein. Zu Kontaminationen, die durch die Herstellung von Generatorgas entstanden sind (PAK, BTEX, Phenole, Cyanide), s. Branchenblatt 2.

Die Wahl des Sanierungsverfahrens muß jeweils für den Einzelfall getroffen und angepaßt werden. Grundsätzlich sind für die Sanierung von Standorten der Glasherstellung/Glasverarbeitung nachfolgende Verfahren geeignet, wobei Verfahrenskombinationen denkbar sind.

### 2.4.1 Boden

#### Bodenaushub und Deponierung

Gemäß KrW-AbfG §5, Absatz 4 besteht die Pflicht zur Verwertung von Abfällen, 'soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist, insbesondere für einen gewonnenen Stoff oder Energie ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Die Verwertung von Abfällen ist auch dann technisch möglich, wenn hierzu eine Vorbehandlung erforderlich ist. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit ist gegeben, wenn die mit der Verwertung verbundenen Kosten nicht außer Verhältnis zu den Kosten stehen, die für eine Abfallbeseitigung zu tragen wären.'

Bodenaushub und nachfolgende Deponierung ist somit nur zulässig, sofern kein wirtschaftlich zumutbares Sanierungsverfahren vorhanden ist.

Bei der Deponierung sind die abfallrechtlichen Gesetze und Vorschriften zu beachten.

#### Sanierungsverfahren

##### Sicherung durch Oberflächenabdichtung /-versiegelung

Eine Oberflächenabdichtung/-versiegelung ist in praktisch allen Fällen möglich. Da diese Maßnahme nur eine Sicherung und keine Dekontamination darstellt, sollte sie nur in Frage kommen, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Oberflächenversiegelung kann am Standort langfristig gewährleistet werden,

- Die Kontamination befindet sich nicht im Grundwasser oder Grundwasserschwankungsbereich,
- Sickerwassertransport oder Staubemission sind die einzig wesentlichen Migrationspfade

### Immobilisierung

Bei der Immobilisierung werden die Schadstoffe durch zugeführte Stoffe in stabilere bzw. unlösliche Verbindungen überführt und/oder fest in die Bodenmatrix eingebunden. Es sind In-situ Techniken sowie Ex-situ Techniken nach Auskoffnung des Bodens verfügbar. An Immobilisierungsverfahren werden eingesetzt: Verfestigung, Fixierung, Ausfällung, Verglasung, Polymerisation sowie thermische Einbindung. Zur Beurteilung der Wirksamkeit der Verfahren sind nach HELMS (1999) die folgenden Eignungsprüfungen durchzuführen: Durchlässigkeit, einaxiale Druckfestigkeit, Frost-Tau-Wechsel, Zerfallsbeständigkeit, Eluierbarkeit. Eine Immobilisierung kann vor allem bei Schwermetallkontaminationen in Böden mit hohem Feinkornanteil die Technik der Wahl sein, da wirtschaftlich vertretbare Sanierungsverfahren (s.u.) für diese Bedingungen oftmals nicht existieren.

### Dekontaminationsverfahren

Sofern 'reine' MKW-Kontaminationen vorliegen, sind mikrobiologische Verfahren meist am günstigsten einzusetzen. Bei relativ homogenen Böden mit guter Wasserdurchlässigkeit ( $k_f > 10^{-4}$  m/s) und der Möglichkeit zur Errichtung eines Spülkreislaufes können diese Verfahren auch In-Situ angewendet werden. Bei Böden mit höheren Feinkornanteil stoßen die In-situ-Verfahren meist an ihre Grenzen und es ist eine Auskoffnung und Ex-situ-Behandlung in Mieten erforderlich.

Bei Schwermetallkontaminationen sind biologische und thermische Verfahren nicht anwendbar und es kommen als Sanierungsverfahren meist nur chemisch-physikalische Verfahren (Bodenwäsche) in Frage. Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Einsatz der Bodenwäsche ist ein möglichst geringer Feinkornanteil (<40 %, günstig: < 25%) (IVERT, 1999). Sofern diese Bedingungen nicht gegeben sind, ist eine Immobilisierung (s.o) zu diskutieren.

## **2.4.2 Grundwasser**

Die für eine Grundwassersanierung relevanten Schadstoffe sind vor allem Schwermetalle und MKW.

Für diese Schadstoffe kommen grundsätzlich die folgenden Sanierungsverfahren in Frage:

- In-Situ-Sanierung (MKW)
- Aktive hydraulische Sanierungsverfahren (MKW, Schwermetalle)
- Passive hydraulische Sanierungsverfahren (MKW, Schwermetalle)

Bei der In-Situ-Sanierung von MKW-Kontaminationen wird im Grundwasser ein Milieu erzeugt, das den mikrobiellen Abbau begünstigt. Am weitesten verbreitet ist dabei die Zufuhr von Sauerstoff. Hierzu wird oftmals ein Sauerstoffdonator zugesetzt.

Bei den aktiven hydraulischen Verfahren wird das Grundwasser über Brunnen entnommen, der Reinigungsanlage über Tage zugeführt und anschließend in Sickerbrunnen wieder eingespeist. (Reinigungsschritte für MKW: Abscheidung, zusätzlich Abbau oder Strippen; Schwermetalle: Fällung)

Sowohl für Schwermetalle als auch für MKW können bei günstigen hydrogeologischen Gegebenheiten als Passivverfahren auch Funnel-And-Gate-Systeme eingesetzt werden. Bei Schwermetallkontaminationen können die reaktiven Wände mit schwefelhaltigen Reduktionsmitteln belegt werden, die eine Fällung der Schwermetalle als schwer lösliche Schwermetallsulfide bewirken. Bei MKW-Kontaminationen können in den reaktiven Wänden die Bedingungen für einen optimalen mikrobiologischen Abbau optimiert werden, so dass ein wesentlich effektiverer Abbau erreicht werden kann als bei der herkömmlichen In-Situ-Sanierung. (SCHAD, 1998)

## **2.4.3 Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung**

Firmen und Einrichtungen, die sich mit der Behandlung von Altlasten beschäftigen, sind dem Anbieterverzeichnis von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen zu entnehmen. Informationen aus diesem Verzeichnis sind über die IHK- Niederlassungen Sachsens bzw. deren Internet-Adressen erhältlich:

- - <http://www.chemnitz.ihk.de>,
- - <http://www.leipzig.ihk.de> und
- - <http://www.dresden.ihk.de>.

Weiterhin sind in Fachzeitschriften (z.B. Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Wasser & Boden, Korrespondenz Abwasser, Umwelt News, Altlastenspektrum, Altlasten-Aktuell), Publikationen über innovative Altlastenbehandlungen und Anbieter von Leistungen zur Altlasten-behandlung recherchierbar

Bundesweite Angaben enthält das "Technologieregister zur Sanierung von Altlasten" (EDV-Programm TERESA, UMWELTBUNDESAMT (1997)). Aktuelle Informationen sind auch über den Ingenieurtechnischen Verband Altlasten (ITVA) erhältlich.

Abfalltechnische Behandlungsanlagen (thermische, biologische und chemisch-physikalische Bodenbehandlungszentren) sind im "Abfalltechnischen Anlagenkataster (ANKA)" des LfUG sowie in regelmäßigen Publikationen wie der Zeitschrift TERRATECH recherchierbar.

Anbieter von Immobilisierungsverfahren enthält u. a. die LfUG-Publikation "Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten", SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1996).

In Arbeit ist eine Publikation mit Referenzobjekten zu den branchenbezogenen Altlasten, die im Rahmen des Sächsischen Altlastenfachinformationssystems "SALFA-WEB" im Internet (<http://www.lfug.de>) und auf CD-ROM veröffentlicht werden.

### 3 Literaturhinweise

- „NEUER BLEITRÄGER-ROHSTOFF“, Sprechsaal 113, 1980, S. 162
- AUTORENKOLLEKTIV (1984): „Schadstoffemissionen und Reinhaltung der Luft in der Glasindustrie der DDR – Studie 1984“
- Autorenkollektiv(1983): „ABC Glas“ VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig
- BEYERSDORFER, P. (1964): „Glashüttenkunde“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig
- BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (BBodSchV) vom 12.07.1999: Bundesgesetzblatt; Jahrgang 1999 Teil I Nr. 36, ausgegeben zu Bonn am 16.07.1999:
- ENGELLEITNER, W. H. (1978): „Agglomeration in the glass industry“, Glass Industry 59 - 8, S. 16 – 27
- GESETZ ZUM SCHUTZ DES BODENS (BBodSchG) vom 17.03.1998: Bundesgesetzblatt; Jahrgang 1998, Teil I Nr. 16, ausgegeben zu Bonn am 24.03.1998:
- HELMS, K. (1999): Immobilisierung, IN: FISCHER, KÖCHLING, NABERT (Hrsg.): Boden schützen, Altlasten sanieren: Konzepte – Lösungen – praktische Umsetzungen, Augsburg, WEKA-Praxis-Handbuch, Kap. 4.8.8
- IVERT, S (1999): Extraktionsverfahren, IN: FISCHER, KÖCHLING, NABERT (Hrsg.): Boden schützen, Altlasten sanieren: Konzepte – Lösungen – praktische Umsetzungen, Augsburg, WEKA-Praxis-Handbuch, Kap. 4.8.3
- JEBSEN-MARWEDEL, H.; BRÜCKNER, R. (1980): „Glastechnische Fabrikationsfehler“, Springer-Verlag Berlin
- KIRCHER, U. (1978): „Staub- und Schademission von Glasschmelzwannen“, Glastechnische Berichte 51 - 6, S. 139
- LANGE, H.-J. (1980): „Rohstoffe der Glasindustrie“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig,
- LANGER, A.; SCHOLZE, H. (1981): „Untersuchungen zum Ersatz von As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> als Läutermittel für Kristallgläser“, Glastechnische Berichte 54 - 7, S. 223 – 230
- LAUFENBERG, J. VON; NOVOTNY, R. (1983): „Wasserglaserstellung und Anwendung“, Glastechnische Berichte 56 - 11, S. 294 – 298
- MOHRY, H.; RIEDEL, H.-G. (1981): „Reinhaltung der Luft“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1981
- NIEMANN, E. (1978): „Verminderung der Verstaubung bleihaltiger Rohstoffe in Glashütten“, Glastechnische Berichte 51 - 12, S. 307 – 316
- NÖLLE, G. (1978): „Technik der Glaserstellung“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig,
- ROTH, L. (1989): Wassergefährdende Stoffe, ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Karlsruhe
- SÄCHSISCHES GESETZ- UND VERORDNUNGSBLATT, Hrsg. von der Sächsischen Staatskanzlei, Nr. 9/1999 vom 15.06.1999: Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (SächsABG) vom 31.05.1999
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1995): Verzeichnis der Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen, Radebeul
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1996): Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Bd. 1/1996, Dresden
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998a): Historische Erkundung von Altlastverdachtsfällen. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Band 4, Dresden
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998b): Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Band 3, Dresden

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung): Handhabung von Orientierungswerten sowie Prüf- und Maßnahmenwerten zur Gefahrenverdachtsmittlung für die Altlastenbehandlung in Sachsen, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Dresden (erscheint 2000)

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995c): Empfehlung zur Handhabung von Prüf- und Maßnahmenwerten für die Gefährdungsabschätzung von Altlasten in Sachsen. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Band 2, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser. Anlage 7: Schadstoffpfad Grundwasser; Merkmale, Tabellen und Regeln für die Gefährdungsabschätzung mit dem Programm GEFA. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden. Anlage 7: Schadstoffpfad Boden; Merkmale, Tabellen und Regeln für die Gefährdungsabschätzung mit dem Programm GEFA. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997): Erfassung von Verdachtsfällen und Formale Erstbewertung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999): Sanierungsuntersuchung, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 5, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung b): Detailuntersuchung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 7, Dresden

SCHAD, H. (1998): Reaktive Wände zur Grundwassersanierung, IN: JESSBERGER + PARTNER (HRSG.): 14. Bochumer Altlasten-Seminar, 10. Leipziger Altlasten-Seminar: Flächenrecycling, S. 93-103 (1998)

SCHAEFFER, H. A. (1995): „Allgemeine Technologie des Glases“, Erlangen

SPAUSZUS, S. (1975): „Werkstoffkunde Glas“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig

ULLMANN (1974-1983): Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Auflage, Bd. 22 „Textildruck“, „Textilfärberei“, Bd. 23 „Textilhilfsmittel“, Weinheim

UMWELTBUNDESAMT (1985): Substitution umweltgefährdender Stoffe - Möglichkeiten, Probleme, Beispiele, UBA-Texte 12/85, Berlin

ZAUNICK, U. H.: „Reinhaltung der Luft in der Glasindustrie“